

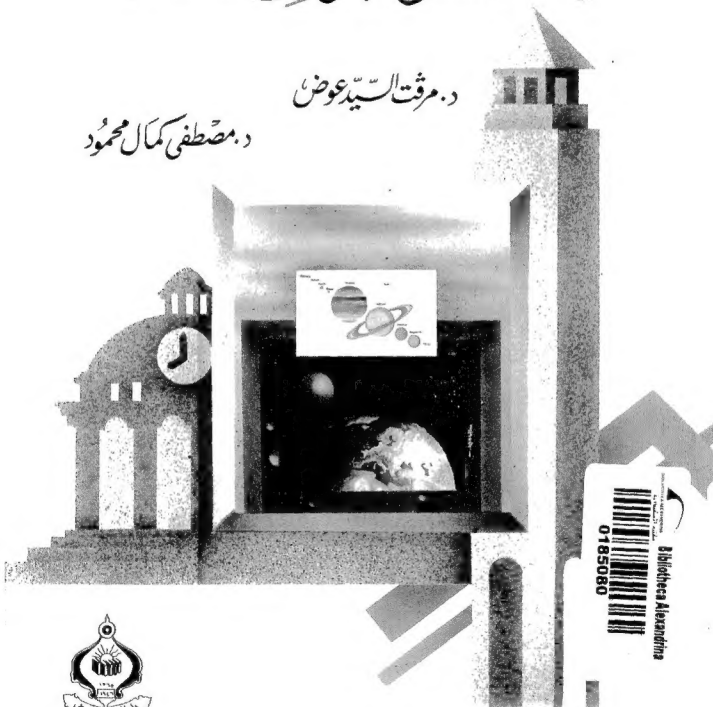


(٨)

علم الفلك والحتم

د. مرقت السيد عوض

د. مصطفى كمال محمود



0185080

Bibliotheca Alexandrina

سلسلة الفكر العربي
لمراجع العلوم الأساسية

- ٨ -

عِلْمُ الْفَلَكَ وَالْعَجَمُ

د. مصطفى كمال محمود
أستاذ مساعد الفلك والفضاء
كلية العلوم - جامعة القاهرة

د. مرقت السيد عوض
أستاذ الفلك والفضاء
كلية العلوم - جامعة القاهرة

الطبعة الأولى
١٤٢٠هـ - ٢٠٠٠م

ملتزم الطبع والنشر
دار الفكر العربى
٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة
ت: ٢٧٥٢٩٨٤ - فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥

٥٢٠ م ر ع ل
 مرفت السيد عوض.
 علم الفلك العام / مرفت السيد عوض، مصطفى كمال محمود. - القاهرة: دار الفكر العربي، ١٩٩٩.
 ٣٠٤ ص: إيض؛ ٢٤ سم. - (سلسلة الفكر العربي لمراجع العلوم الأساسية؛ ١٤).
 بيلوجرافية: ص ٣٠٣-٣٠٤.
 يشتمل على معجم بالمصطلحات التي وردت بالكتاب.
 يشتمل على كشاف.
 تدمك: ٠- ١٢٣٢ - ١٠ - ٩٧٧.
 ١- الفلك. أ- مصطفى كمال محمود، مؤلف مشارك.
 ب- العنوان. ج- السلسلة.

تصميم وإخراج فنى

محمود عبد الوه



٩٩ / ٣٨٩٠	رقم الإيداع
977- 10 -1232-0	I. S. B. N الترقيم الدولى

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم السلسلة

الحمد لله رب العالمين.. خلق الإنسان، علّمه البيان .

والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد النبی الامی العربی
الصادق الأمين، وعلى آله وصحبه والتابعين بإحسان إلى يوم الدين.
أما بعد ..

فإن اللغة - أي لغة - هي وسيلة التواصل الفكرى بين أبناء الأمة الواحدة، وهي
فى الوقت نفسه تمثل حاجة ملحة، وضرورة لا غنى عنها لكل أمة تشرع فى النهوض
من كبوتها وتسعى إلى اللحاق بركب الحضارة، مؤمنة بالدور الأساسى للعلوم الأساسية
والتطبيقية والتقنية فى صنع التقدم والرفق.

هذه الحقيقة التاريخية استوعبها علماء الحضارة العربية الإسلامية عندما ترجموا
معارف السابقين إلى اللغة العربية، واستوعبها أيضا الغربيون عندما ترجموا علوم
الحضارة العربية الإسلامية فى أوائل عصر النهضة الأوربية الحديثة، وتعيها اليوم كل
الأمم التى تدرس العلوم بلغاتها الوطنية، فى سعى حثيث نحو المشاركة الفعالة فى
إنتاج المعرفة وتشيد صرح الحضارة المعاصرة.

ولقد أضحى أمر تعريب العلم والتعليم ضرورة من ضرورات النهضة العلمية
والتقنية التى تشهدها أمتنا العربية الإسلامية لكى تستأنف مسيرتها الحضارية بلغة القرآن
الكريم الذى حفظها قوية حية فى النفوس على الرغم من السوء الذى أصاب أهلها،
وما ذلك إلا لأن الله سبحانه وتعالى قد خصّها بصفات تميزها على غيرها، وكفلها
بحفظه حين تكفل بحفظ قرآنه العظيم.

والحديث عن هذه الضرورة الحضارية لتعريب العلم والتعليم قد تجاوز الآن
مرحلة الإقناع بالأدلة والبراهين المستقاة من حقائق التاريخ ومعطيات الواقع المعاش،
وعليه أن ينتقل إلى مرحلة التخطيط والتنفيذ، وفق أسس وضمانات منهجية مدروسة،
وعن طريق آليات ومؤسسات قادرة على إنجاز المشروع الحضارى الكبير. ذلك أن
اجتياز حالة التخلف العلمى والتقنى التى تعيشها الأمة العربية والإسلامية يجب أن
يصبح هدفا عزيزا تُستحث لأجله الهمم، وتستثار العزائم.

و**دار الفكر العربي** - من جانبها - قد استشعرت خطورة تأخير هذا المشروع الحضارى الكبير، فسعت جاهدة إلى تحقيق الهدف النبيل، وشرعت فى إعداد «سلسلة مراجع العلوم الأساسية» فى مجالات الكيمياء والفيزياء والرياضيات والفلك والجيولوجيا وعلوم الحياة، بحيث تخاطب قارئ العلوم فى مراحل العمر المختلفة بصورة عامة، وطلاب المرحلتين الثانوية والجامعية على وجه الخصوص، فى ضوء الأهداف الآتية:

* ربط المادة العلمية بما يدرسه الطلاب فى مناهجهم الدراسية، وعرضها على نحو يوافق التصور الإسلامى للمعرفة، ويحقق أهداف وغايات التربية الإسلامية الرشيدة.

* إثراء الثقافة العلمية لدى الطلاب والارتقاء بذوقهم العلمى مع تنمية الجانب التجريبى والتطبيقى لتعويدهم حسن الاستفادة من كل ملكات الفكر والعمل التى وهبها الله - سبحانه وتعالى - للإنسان.

* إبراز الدور الرائد الذى قام به علماء الحضارة العربية الإسلامية - قديما وحديثا - فى دفع مسيرة التقدم العلمى.

* تتبع نمو المفاهيم العلمية وصولا إلى أحدث الكشوف والمخترعات، وذلك بهدف غرس منهجية التفكير العلمى لدى الطلاب، وتوسيع مداركهم إلى أبعد من حدود الموضوعات الدراسية المقررة عليهم.

* الالتزام بما أقرته مجامع اللغة العربية من مصطلحات علمية، ويفضل أكثرها شيوعا مع ذكر المقابل الأجنبى.

وقد عهدت **دار الفكر العربي** بالمسئولية العلمية إلى هيئة استشارية تتولى التخطيط لإصدارات هذه السلسلة، واستكتاب أهل الخبرة والاختصاص من علماء الأمة ومفكرىها، ومناقشة الأعمال المقدمة قبل صدورها.

﴿رَبَّنَا لَا تُزِغْ قُلُوبَنَا بَعْدَ إِذْ هَدَيْتَنَا وَهَبْ لَنَا مِنْ لَدُنْكَ رَحْمَةً إِنَّكَ أَنْتَ الْوَهَّابُ﴾ [آل عمران].

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين

أحمد فوزان باشا

الهيئة الاستشارية

أ. د أحمد فؤاد باشا	أستاذ الفيزياء ووكيل كلية العلوم . جامعة القاهرة رئيس الهيئة وعضو المجمع العلمي المصري.
أ. د محمد عبد الفتاح القصاص	أستاذ علم النبات ، بعلوم القاهرة، وخبير البيئة عضواً العالمى وعضو المجمع العلمى المصرى.
أ. د عبد الحافظ حلمى محمد	عميد علوم عين شمس الأسبق، وأستاذ البيولوجيا عضواً وعضو مجمع اللغة العربية.
أ. د أحمد مدحت إسلام	أستاذ الكيمياء . العميد الأسبق لعلوم الأزهر. عضواً
أ. د على على المرسي	أستاذ علم الحشرات . جامعة القاهرة . عضو عضواً المجمع العلمى المصرى.
أ. د الإمام عبده قبية	أستاذ علم النبات . ووكيل كلية العلوم جامعة عضواً القاهرة لشئون الدراسات العليا والبحوث.
أ. د أحمد مختار أبو خضرة	أستاذ الجيولوجيا . ووكيل كلية العلوم جامعة عضواً القاهرة لشئون التعليم والطلاب.
أ. د محمد أمين سليمان	أستاذ قسم الفيزياء . علوم القاهرة. عضواً
أ. د عبد الشافى عبادة	أستاذ الرياضيات . علوم الأزهر. عضواً
أ. د محمد أحمد الشهاوى	قسم الفلك والأرصاد الجوية . جامعة القاهرة. عضواً
أ. د شريف أحمد خيرى	أستاذ قسم الفيزياء . علوم القاهرة. عضواً

مدير التحرير:

الكيميائى: أمين محمد الخضرى

المهندس: عاطف محمد الخضرى

جميع المراسلات والاتصالات على العنوان التالى:

دار الفكر العربى

سلسلة الفكر العربى لمراجع العلوم الأساسية

٩٤ شارع عباس العقاد . مدينة نصر . القاهرة

ت: ٢٧٥٢٩٨٤ . فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ بُرُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُنِيرًا ﴾

[الفرقان : ٦١]



إلى أغلى وأجمل زهرتين في حياتي .. رانيا وأحمد

أ.د. هفت السيد عوض



بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

ما الفضاء بل وما الكون ، أهما فقط ما نرى من ظواهر السماء وأجرامها ، أم هما هذا الوجود الممتد حولنا حتى لنظنه بلا حدود ؟ . لقد كان هذا السؤال وما زال شغل الإنسان الشاغل قصيد إليه أم لم يقصد . إن أول ما رأى الإنسان شمسًا تشرق فتضيء لتصحو الكائنات كل يسعى لررق قُدر له ، لكن الشمس هذه لا يدوم لها شروق ، إنها تعبر قبة السماء في دورة تستجد كل يوم فتعلو على الأفق لتبلغ في السماء ارتفاعًا قصيا بعده تبدأ في الهبوط لتختفي تحت الأفق من جديد فيكتسى الوجود بظلمة موحشة وسكون مهيب . وينظر الإنسان للسماء يتأملها وينظر سائر الطير وسائر الحيوان ، لكن نظرة الإنسان لم تكن يومًا كنظرة الطير أو كنظرة الحيوان ، إنه يتفكر فيما يرى ، إن الشمس لا تكاد تغيب تحت الأفق حتى تنتشر على صفحة السماء نقاط تلمع فتبدد وحشة الوجود وتكسر حدة الظلام ، بل يسطع في معظم الأيام قمر وضيء يبهج العين . وتساءل الإنسان ما هذه الشمس ومن أين تأتي بكل هذا الضياء ومن أين لها كل هذا البهاء ؟ وما هذا القمر الذي يبدو كوصيف للشمس يستحي وتستحي معه تلك النجوم اللوامع من الظهور بجوارها ؟

لم تكن الشمس ولم يكن القمر ولا كانت تلك النجوم ، ما رآه ثابتًا منها لا يريم أو ما لاحظ له حركة وإن كانت قليلة ، هو كل ما رأى ، لقد كان يبدو في السماء ما يشبه سحببات تضيء بضوء خافت يتغير وضعها في السماء ، وتكاد تحتوى كل ما يرى من نجوم .

ولاحظ الإنسان فيما لاحظ ارتباطًا مباشرًا بين الشمس وما على الأرض من نبات وما يمر بها من ظروف الحياة ، يأتي ربيع تزدهر فيه الحياة فتنمو الأزهار وتغرد الأطياف وتورق الأشجار وتكثر الثمار ، ثم يأتي صيف قائط كان الشمس

فيه تُرى الإنسان من قدرتها وقسوتها ما لم يكن يعلم ، ويتلو الصيف خريف تذبل فيه الحياة ويتساقط كساء الأشجار وينضب معين الثمار ، لينتهي بشتاء قارس يشتد فيه البرد هادراً بلا رحمة حتى أن بعض الكائنات تعزل الحياة ببيات غريب كأنها فارقت دنيا الأحياء .

من هنا أدرك الإنسان أن ما يرى هو قطرة من كون شاسع فسيح ، عليه أن يجوبه بالعقل وأن يسبح فيه بالروح . من هنا كان علم الفلك من أقدم العلوم ، بل هو أقدمها ، ومن هنا تعددت أساطير الأولين محاولة سبر غور هذا الكون الغامض المجهول .

وقد حضنا المولى عز وجل في العديد من آى الذكر الحكيم على التفكير فى الكون وضرب لنا الأمثال تكراراً على عظمة وإعجاز خلق الله فى الكون :

﴿ يَسْأَلُونَكَ عَنِ الْأَهْلِ قُلْ هِيَ مَوَاقِيتُ لِلنَّاسِ وَالْحَجِّ ﴾ (البقرة : ١٨٩) .

﴿ إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِأُولِي الْأَبْصَارِ ﴾ (آل عمران : ١٩٠) .

﴿ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ ﴾ (آل عمران : ١٩١) .

﴿ فَارْتَقِبْ يَوْمَ تَأْتِي السَّمَاءُ بِدُخَانٍ مُبِينٍ ﴾ (الدخان : ١٠) .

﴿ وَالسَّمَاءَ بَنَيْنَاهَا بِأَيْدٍ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ ﴾ (الذاريات : ٤٧) .

﴿ يَا مَعْشَرَ الْجِنِّ وَالْإِنسِ إِنِ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ فَانْفُذُوا لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطَانٍ ﴾ (الرحمن : ٣٣) .

﴿ فَلَا أَسْأَلُكُمْ بِمَوَاقِعِ النُّجُومِ ﴾ (٧٥) وَإِنَّهُ لَقَسَمٌ لَوْ تَعْلَمُونَ عَظِيمٌ ﴾ (الواقعة) .

مع كل هذا فقد خلعت المكتبة العربية من كتاب مرجعى باللغة العربية يعرض للنواحى المختلفة لعلم الفلك الحديث ببعض من العمق . وقد حاولنا فى كتابنا هذا سد هذا النقص . ووجود هذا الكتاب يمثل أهمية كبيرة للأسباب الآتية :

أن علم الفلك متطلب جامعة فى جامعات الملك سعود والملك عبد العزيز بالمملكة العربية السعودية وجامعة الإمارات العربية المتحدة ، وجامعات البحرين والكويت .

★ أن علم الفلك يدرس فى جامعات القاهرة والأزهر ومعهد المراقبة الجوية .

★ أن بعض موضوعات الفلك (البسيطة) مقررة على المدارس الثانوية والإعدادية .

فإذا أضفنا لهذا ما هو معروف عن الإقبال الشديد على كتب الفلك يتضح مدى الحاجة لوجود كتاب عن الفلك يجمع بين اللغة السهلة والسليمة واحتوائه على الجديد فى هذا العلم .

والله الموفق والهادى إلى سواء السبيل .

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

المؤلفان

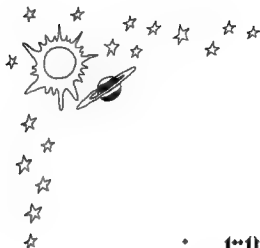
المحتويات

الصفحة	الموضوع	
٧	إهداء	
٩	المقدمة	
١٧	الفلك والتاريخ	الفصل الأول
١٩	الفلك في مصر القديمة	١-١
٢٤	الفلك في الصين	٢-١
٢٤	الفلك في بابل وأشور	٣-١
٢٥	الفلك عند الإغريق	٤-١
٢٧	الفلك عند العرب والمسلمين	٥-١
٣٣	إطلالة على الكون	الفصل الثاني
٣٥	الفلك والحياة	١-٢
٣٧	أجرام السماء	٢-٢
٤٤	مقاييس الكون	٣-٢
٤٧	كرة الأرض وكرة السماء	الفصل الثالث
٤٩	حساب المثلثات الكروي	١-٣
٥٢	طرف عن الأرض	٢-٣
٥٣	الإحداثيات الأرضية	٣-٣
٥٦	كرة السماء	٤-٣
٥٦	الإحداثيات السماوية	٥-٣
٦٧	قياس الزمن	٦-٣
٧٢	التقويم	٧-٣
٧٤	حساب اتجاه القبلة	٨-٣
٧٩	الإشعاع والظلال	الفصل الرابع
٨١	أنواع الموجات الكهرومغناطيسية	١-٤
٨٣	الطيف والفلك	٢-٤
٨٥	تعريفات أساسية	٣-٤
٨٨	القدر الظاهري والقدر المطلق	٤-٤
٩٢	تأثير الغلاف الهوائي ووسط ما بين النجوم	٥-٤
٩٦	الإشعاع وانبعائه	٦-٤

الصفحة	الموضوع	
٩٧	الطيف الذري والطيف الجزيئي	٧-٤
٩٨	الطيف المستمر	٨-٤
٩٨	إشعاع الجسم الأسود	٩-٤
٩٩	أطياف النجوم	١٠-٤
١٠٢	شكل هرتزسبرونج وراسل	١١-٤
١٠٣	أجواء النجوم	١٢-٤
١٠٣	قياس الحرارة	١٣-٤
١٠٥	ماذا نعرف عن نتائج الأرصاد	١٤-٤
١٠٩	المجموعة الشمسية	الفصل الخامس
١١١	نظرة عامة	١-٥
١١٣	نسق الكواكب	٢-٥
١١٧	مدارات الكواكب والأقمار	٢-٥
١١٩	الأرض	٤-٥
١٢٤	القمر	٥-٥
١٣١	الكواكب الأرضية	٦-٥
١٣١	عطارد	١-٦-٥
١٣٣	الزهرة	٢-٦-٥
١٣٧	المريخ	٣-٦-٥
١٤٧	السيارات العظمى	٧-٥
١٤٧	المشتري	١-٧-٥
١٥٣	زحل	٢-٧-٥
١٥٧	يورانيوس	٣-٧-٥
١٦٠	نبتون	٤-٧-٥
١٦٤	بلوتو	٨-٥
١٦٩	المذنبات	٩-٥
١٧٢	الشهب والنيازك	١٠-٥
١٧٣	الكويكبات	١١-٥

الصفحة	الموضوع	
١٧٤	الغبار ما بين الكواكب	١٢-٥
١٧٥	ماذا عن الكوكب X	١٣-٥
١٧٥	نشأة المجموعة الشمسية	١٤-٥
١٧٨	المجموعات الشمسية الأخرى	١٥-٥
١٧٩	ظواهر فلكية	الفصل السادس
١٨١	الكسوف والخسوف	١-٦
١٨١	كسوف الشمس	١-١-٦
١٨٣	خسوف القمر	٢-١-٦
١٨٦	الاستتار والعبور	٢-٦
١٨٧	الفجر القطبي	٣-٦
١٨٩	الضوء البروجي	٤-٦
١٩٠	الوهج المضاد	٥-٦
١٩١	المد والجزر	٦-٦
١٩٧	الشمس	الفصل السابع
١٩٩	التركيب الداخلى	١-٧
٢٠٠	جو الشمس	٢-٧
٢٠٥	النشاط الشمسي	٣-٧
٢١٣	اجتمعات الحياة في الكون	الفصل الثامن
٢١٥	تطور الحياة على الأرض	١-٨
٢١٦	احتمالات الحياة المتطورة في المجرة	٢-٨
٢١٨	السفر بين النجوم	٣-٨
٢١٩	احتمالات الغزو فيما بين النجوم	٤-٨
٢٢٠	الاستيطان في حزام الكويكبات	٥-٨
٢٢١	الاتصال بالحضارات الأخرى	٦-٨
٢٢١	عدد الكواكب المأهولة في الكون	٧-٨
٢٢٣	تأثير العمر المحدود للكون	٨-٨
٢٢٥	النجوم	الفصل التاسع
٢٢٧	لنجوم المزدوجة	١-٩

الصفحة	الموضوع	
٢٢٨	تركيب النجوم	٢-٩
٢٣١	تطور النجوم	٢-٩
٢٣٧	النجوم المتغيرة	٤-٩
٢٣٨	النجوم المتفجرة	٥-٩
٢٤٠	النجوم الكثيفة	٦-٩
٢٤٤	وسط ما بين النجوم	٧-٩
٢٤٥	حشود وتجمعات النجوم	٨-٩
٢٥١	عالم المجرات	الفصل العاشر
٢٥٣	الطريق اللبنى	١٠-١١
٢٥٧	- الإحداثيات المجرية	
٢٥٨	- طرق قياس المسافة	
٢٥٩	- فصائل النجوم	
٢٥٩	تصنيف المجرات	٢-١٠
٢٦٤	كتل المجرات	٣-١٠
٢٦٤	النظم المجرية	٤-١٠
٢٦٦	أبعاد المجرات	٥-١٠
٢٦٧	المجرات النشطة وأشياء النجوم	٦-١٠
٢٦٩	العدسات الثقالية	٧-١٠
٢٧١	قذعة الكون	الفصل
٢٧٣	الفروض والأرصاء الكونية	الحادى عشر
٢٧٣	- متناقضة أولبرز	١-١١
٢٧٤	- فضاء ما بعد المجرة	
٢٧٤	- قانون هبل	
٢٧٥	- عمر الكون وتملده	
	- إشعاع الميكروويف الحرارى للخلفية الكونية	
٢٧٦	المبدأ الكونى	٢-١١
٢٧٧	حاضر الكون ونشوؤه ومستقبله	٣-١١
٢٨١	معجم المصطلحات التى وردت بالكتاب	
٣٠٣	قائمة المراجع	



الفصل الأول

الفلك والتاريخ

الفلك في مصر القديمة	١-١
الفلك في الصين	٢-١
الفلك في بابل وآشور	٣-١
الفلك عند الإغريق	٤-١
الفلك عند العرب والمسلمين	٥-١

لم يحظ علم بما حظى به الفلك من اهتمام الإنسان منذ حطَّ على الأرض فصارت له موطناً ولأبنائه مآلاً . فقد كان النظر للسماء يولد عنده رهبة مما تُخفى ورغبة فى استجلاء أسرار ما تبديه . أدى هذا إلى ترسيخ تاريخ للفلك طويل ، اختلط فيه الواقع بالخرافة ، والحقيقة بالأسطورة ، والإدراك الواعى بالبدائية والسذاجة . وقد جاءت تسميتنا لهذا الفصل قصداً لإيضاح أننا إنما نعرض لطرف من هذا التاريخ الطويل دونما خوض فى تفاصيل هذا التاريخ أو إدعاء الإلمام بكل أطرافه .

وكلما أثير موضوع تاريخ العلوم ودراسته برز من يقول : لم هذا الانشغال بتاريخ العلوم مضى ؟ ، ألم نستخلص منها المفيد لنؤسس عليه ما نطور منها أو لنلقى بعضاً من ضوء على جوانب من العلم قد تكون خفيت علينا ؟ إلا أن هذا القول مردود عليه بأنه لو كان صحيحاً لتوجب مسح كل ما يتصل من التاريخ بحقبة تقادمت وانقضت عهدها ومضى زمانها ، وفى هذا يقول الشاعر :

ليس بإنسان ولا عاقل من لا يعى التاريخ فى صدره
ومن درس أخبار من قبله أضاف أعماراً إلى عمره

١ - ١ الفلك فى مصر القديمة :

(أ) التداخل مع العقيدة الدينية :

لم تتأصل الديانة فى أمة وتمتزج بحياة أهلها كما تأصلت فى الأمة المصرية وتمتزجت بكل مظاهر الحياة فيها كما بدا هذا جلياً فى كل مظاهر الحضارة المصرية القديمة . لذا كرس كهنة مصر القديمة حياتهم للعلم ودراسة ظواهر الطبيعة المختلفة .

كان المصريون القدماء يؤمنون بإله واحد سرمدى لم يولد ولم يُخلَق فكل ما خُلِق فى اعتقادهم غير كامل وأنه كما خُلِق فهو إلى فناء ، إلا أنهم اتخذوا من بعض أجرام السماء آلهة ثانوية أو رموزاً لمعان آمنوا بها أو معان مقتوها . ومن أهم الأمثلة فى هذا المجال كانت الشمس (رع أو أوزيريس) مصدر القوة

والنماء، أما « ست » (رمز الشر عندهم) فهو سبب الزلازل والصواعق والكسوف والخسوف وغيرها من الظواهر الطبيعية عنيفة الأثر .

وكان من آرائهم الفلسفية فى هذا الصدد أن الزمن مكون من الماضى والحاضر والمستقبل ، وهى جميعها متداخلة ، فمن الماضى يشتق الحاضر ومن الحاضر يأتى المستقبل . وتلك المفاهيم على بساطتها شديدة الأهمية ، وكما سنوضح فى فصول قادمة ، فإننا نرى ماضى الكون قريبه وبعيده مسطوراً على صفحة السماء .

(ب) الأرضاد الضلكية والتقويم :

اهتم قدماء المصريين منذ فجر التاريخ برصد الأجرام السماوية ودراسة حركاتها على صفحة السماء ، ويؤكد بعض المؤرخين أنهم بلغوا فى هذا شأنًا لا يتسامى إليه أى من معاصريهم وكان من دلائل هذا الاهتمام ونتائجه :

١ - إطلاق أسماء خاصة على الكوكبات (مجموعات النجوم التى نرى فى السماء) ورمزوا لها وللكواكب برموز مديريات القطر ومدنه ، مثال ذلك :

الكوكبة	الرمز	الكوكب	الرمز
الدلو	جزيرة اللفتين	المريخ	أبولونوبوليس (إدفو حاليًا)
الحوت	إسنا	المشتري	أرمنت
الحمل	طيبة	انزهرة	دندرة

وقد كانوا يرمزون للشمس بدائرة فى وسطها نقطة (وهو الرمز المستخدم حالياً) أو بقرص دى أجنحة ، كذلك اهتموا كثيراً بنجم الشعرى اليمانية وأوقات شروقها وكذلك الزهرة وأسموها هاتور .

٢ - اتخذوا السنة النجمية وحدة لقياس الزمن ، وبلغ من دقة قياسهم أن قدروها بما يعادل $\frac{1}{365}$ يوماً فقسموها إلى ١٢ شهراً بكل شهر ٣٠ يوماً يضاف لها ٥ أيام تسمى أيام النسيء تقام فيها أعيادهم .

٣ - استخدموا فى تقرير طول السنة ظاهرة الشروق الاحتراقى(*) لنجم الشعرى اليمانية أى رؤية هذا النجم مباشرة قبيل شروق الشمس ، ومما يجدر ذكره أنه فى الوقت الذى أسس فيه قدماء المصريين هذا التقويم الفلكى المحكم نجد معاصريهم من الرومانين واليونانيين والآشوريين يسعون بلا طائل لربط أوائل الشهور القمرية بأوائل الشهور المدنية .

٤ - ارتباط اتجاهات مبانهم الأثرية المختلفة بالجهات الرئيسية الأربع ومستوى الزوال وأوقات شروق الشمس فى مواسم معينة .

٥ - من الأمور الهامة الأخرى أن سقف معبد دندرة وجدلرانه محلاة بنقوش تمثل صور البروج ، وبيان ساعات الليل والنهار وأوجه القمر ومسار الشمس بين النجوم . وبلغت النظر بشدة أنهم رمزوا للزهرة بقرص ذى قرنين يشبه المرأة وتسقط عليه أشعة الشمس ، مما يمكن أن يفسر بإدراكهم لتبعية الزهرة للشمس واحتمال توصلهم لرصد الوجه الهلالى للزهرة .

٦ - صمموا مزاوِل شمسية شديدة الدقة لقياس الزمن .

(ج) ما انتقل إلى اليونانيين ،

نقل اليونانيون الكثير من علوم مصر القديمة ، نذكر منها فى مجال الفلك :

١ - خيط الرصاص لتعيين المستويات الرأسية .

٢ - طرق تعيين الزمن نهاراً (مثل المسلات) .

٣ - الساعات المائية لتعيين الزمن ليلاً .

٤ - نظرية تكور العالم .

٥ - البروج المحيطة بمسار الشمس الظاهرى بين النجوم .

٦ - أن النجوم ملتفة وأن الشعرى اليمانية مثلها مثل الشمس .

٧ - أن حركة الشمس والقمر والكواكب عكس الحركة اليومية للأجرام السماوية .

(*) Helical rising

- ٨ - أن الشمس والقمر كرويان .
- ٩ - طريقة قياس القطر الزاوى للشمس والقمر .
- ١٠ - أن القمر أرض خلاء .
- ١١ - أن القمر يضيء بواسطة ضوء الشمس .
- ١٢ - أسباب ظاهرتى الكسوف والخسوف والتنبؤ بهما .
- ١٣ - حساب اليوم بدءاً من منتصف الليل حتى منتصف اليوم التالى .
- ١٤ - كروية الأرض وقياس نصف قطرها .
- ١٥ - تعيين الأوقات لعطارد والزهرة كنجوى صباح أو مساء .

(د) مدرسة الإسكندرية :

ضمت مدرسة الإسكندرية مرصداً لرصد أجرام السماء ساهم فى جعل الإسكندرية فى ذلك الوقت قبلة العلماء من الفلكيين والرياضيين . وقد أدى هذا لأن يكون كل الفلكيين المتميزين لمدة خمسة قرون متصلة من علماء مدرسة الإسكندرية ، فيما عدا العالم اليونانى الشهير « هياركس » . ومن أهم إنجازات هذه المدرسة :

١ - كان عالم مدرسة الإسكندرية الشهير « إرسطاركس » يعتقد بكروية الأرض ، وهو ما لم يثبت بالبرهان العلمى الصحيح ، إلا فى القرن السادس عشر . كما ابتكر طريقة لتعيين الأحجام النسبية للأرض والقمر والشمس . كذلك كان أول من اكتشف أن الشمس هى مركز الكون وليست الأرض . وكذلك أدى عدم مقدرة على تعيين التغير فى اتجاه النجوم إلى استنتاج أنها تقع على مسافات بعيدة جداً .

٢ - كان « نيسا خاريس » و « أرسطيلاس » أول من قاسا مواقع النجوم وقاما بإجراء أرصاد دقيقة .

٣ - استخدم العالم المصرى « بطليموس » الأرصاد السابقة فى تحقيق الظواهر الفلكية وله مؤلف فلكى شهير يسمى « المجسطى » .

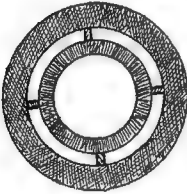
٤ - قام « إراتوستينس » وهو أحد أعلام مدرسة الإسكندرية بقياس قطر الأرض بطريقة علمية صحيحة ، وذلك بقياس اتجاه ميل الشمس على الاتجاه الرأسى بالإسكندرية عند الانقلاب الصيفى حيث تكون فى سمت الرأس فى بلدة « سين » بالقرب من أسوان . كذلك قدر زاوية ميل الدائرة الكسوفية على دائرة استواء الأرض بخطاً لم يتعد ٧ دقائق قوسية .



شكل (٦) آلة فلكية من عهد مدرسة الإسكندرية
تثبت الدائرة الأفقية موازية لخط الاستواء والرأسية
فى مستوى خط الزواك .



شكل (٨) الثعالب رمز الأبدية وكروية الأرض



شكل (٧) آلة فلكية من
عهد مدرسة الإسكندرية
توضع فى مستوى الزواك
للمعين ارتفاع الشمس
فى منتصف النهار .

٢-١ الفلك في الصين :

كان للصينيين إسهام كبير فى فروع مختلفة من علم الفلك نذكر منها الآتى :

١ - أسسوا تقويمًا فى وقت مبكر قد يرجع لأحد القرنين ١٤ أو ١٣ قبل الميلاد . وهناك أقوال بأنهم قاسوا طول السنة بما يناهز $\frac{1}{4}$ ٣٦٥ يوما فى القرن ١٢ قبل الميلاد .

٢ - أعد الفلكى « شيه شن » قائمة تضم حوالى ٨٠٠ نجم . كما أعدوا سجلات للمذنبات والشهب والنيازك بدءًا من سنة ٧٠٠ قبل الميلاد .

٣ - سجلوا البقع الشمسية المرئية بالعين المجردة وكذلك ما أسموه «النجوم الزائرة» وهى كما يتضح من وصفهم أنها ما نسميه الآن النجوم البراقة (النوفا) . وأشهر ما سجلوه من تلك النجوم كان للنوفا الكبرى فى كوكبة «الثور» سنة ١٠٥٤ بعد الميلاد ويعتقد أن سديم السرطان يمثل أحد مخلفات ذلك الانفجار الكونى الكبير .

٣-١ الفلك فى بابل وآشور :

كان اهتمام البابليين والآشوريين بالفلك يرجع إلى عبادتهم للكواكب ، لذا فقد انصب اهتمامهم على ما يخدم هذا الاتجاه . ويمكن إيجاز إنجازاتهم فى الآتى :

١ - عرفوا الطول التقريبي للسنة قبل الميلاد بعدة قرون .

٢ - استخدموا تقويمًا قمريًا من ١٢ شهرًا . وحيث إن طول الشهر القمري حوالى $\frac{29}{3}$ يوم . فإن طول السنة القمرية حوالى ٣٥٤ يوما ، وهو ما يقل عن طول السنة الشمسية بحوالى ١١ يوما ، لذا كانوا يضيفون شهرًا ثالث عشر من وقت لآخر لتصحيح هذا الفارق .

٣ - صنعوا مزاوِل شمسية دقيقة لقياس الزمن .

وقد تسببت عبادتهم للكواكب فى خلط معيب بين الفلك والتنجيم لاعتقادهم فى تأثير تحركات الآلهة الكواكب على أحوال سائر الكائنات .

١ - ٤ الفلك عند الإغريق :

لم يهتم علماء اليونان كثيراً بأخذ الأرصاد الفلكية ، وإنما استخدموا أرصاد المصريين القدماء والآشوريين فى تحقيق نظرياتهم عن الكون وحركة الأجرام السماوية ، وقد كان هذا يتمشى تماماً مع ميلهم للتجديد والتحليل الذهبى . ويمكن تقسيم تاريخ الفلك عند الإغريق إلى مرحلتين : أولاها بدأت حوالى سنة ٦٠٠ قبل الميلاد وحتى سنة ٣٠٠ قبل الميلاد قبل بزوغ نجم مدرسة الإسكندرية .

(أ) المرحلة المبكرة :

يمكن تلخيص إنجازات تلك الفترة فى النقاط التالية :

١ - إذا تأملنا السماء فى ليلة صافية نستطيع تبين الاتجاهات النسبية للأجرام السماوية ، لكننا لا نستطيع أبداً بمجرد النظر تعيين بعد أى منها . ولتعيين تلك الاتجاهات يكفى أن ندرس مواقع تقاطع الخطوط التى تصل بيننا وبين تلك الأجرام مع كرة (وهمية) كبيرة نسميها الكرة السماوية . وقد ابتكر الإغريق مفهوم الكرة السماوية هذا ، لكنهم ظنوها كرة حقيقية من مادة بلورية تحتوى بداخلها النجوم كقطع دقيقة من المجوهرات .

٢ - فسروا ظواهر الشروق والغروب باختفاء نصف الكرة السماوية تحت الأفق ، إلا أنهم اعتبروا أن الكرة السماوية هى التى تدور فتسبب ظواهر الشروق والغروب وليست الأرض .

٣ - كانوا يدركون وجود النجوم فوق الأفق نهاراً ، وأن ضوء الشمس هو الذى يحجبها .

٤ - كانوا يعلمون مثلهم مثل المصريين والبابليين الحركة السنوية للشمس والتى يتغير اتجاهها تبعاً لها بحوالى درجة كل يوم تجاه الشرق .

٥ - قدروا ميل الدائرة الكسوفية على دائرة الاستواء بدقة كبيرة .

٦ - فرقوا بين النجوم والكواكب وقد كانوا يعرفون منها (عطارد ، الزهرة ، المريخ ، المشتري ، زحل) لكنهم اعتبروا الشمس والقمر بين هذه الكواكب .

٧ - تعرفوا على كثير من الكوكبات وأسماؤها بأسماء الحيوانات التي عايشوها .

٨ - كانوا يعتقدون بكروية الأرض .

(ب) المرحلة المتأخرة :

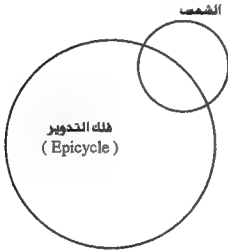
كان كل علماء تلك الفترة من علماء مدرسة الإسكندرية ، لكن برز في تلك الفترة عالم إغريقي هو « هيباركس » كانت له إنجازات كبيرة متنوعة . ويمكن تلخيص منجزات تلك المرحلة في :

١ - إقامة مرصد في جزيرة رودس رُوِدَ بأجهزة أمكن باستخدامها إجراء أرصاد دقيقة قدر الإمكان لمواقع أجرام السماء المختلفة .

٢ - عمل جداول تضمنت حوالي ٨٥٠ نجماً ومواقعها على الكرة السماوية .

٣ - بمقارنة اتجاهات قطب الكرة السماوية القديمة بما حصل عليه « هيباركس » توصل إلى ظاهرة ترنح هذا القطب حيث يرسم امتداد محور دوران الأرض دائرة صغيرة على الكرة السماوية تكتمل كل ٢٦٠٠ سنة .

٤ - ابتكر نظام قياس درجة لمعان النجوم بأقدار بحيث يكون ألمعها من القدر واحد ، وأخف ما يمكن أن تراه العين في ليلة صافية من القدر السادس .



٥ - باستخدام طريقة « أريستاركس » تمكن هيباركس من تعيين حجم القمر وبعده حيث لم يتعدى الخطأ في تعيين بُعد القمر عن نصف قطر الأرض .

٦ - قدر طول السنة بخطأ في حدود ٦ دقائق .

٧ - لاحظ هيباركس عدم انتظام سرعة الشمس في حركتها السنوية ، لذا

افترض أنها تتحرك في دائرة تقع الأرض بعيداً عن مركزها بقدر يسير . كذلك اقترح فكرة فلك التدوير وهى فكرة تعود إلى الفلكي بطليموس من علماء مدرسة الإسكندرية ، ومؤداها أن الشمس تدور في دائرة يتحرك مركزها في دائرة أكبر حول الأرض . كما هو موضح في شكل (٤) .

١-٥ الفلك عند العرب والمسلمين :

كان العرب يسمون علم الفلك بأسماء متعددة أشهرها « علم الهيئة » ، ولحاجة أهل البادية لمعرفة مواقع النجوم ومواقيت شروقها وغروبها فقد اهتموا بعلم الهيئة . وورد الكثير من أسماء النجوم والكوكبات في أشعار ما قبل الإسلام . وقد تعدى ما ذكر منها مائتين وخمسين . وكذلك عرفوا منازل القمر وكثر ذكرها في كتبهم .

أما في العصر الإسلامي فقد تطورت المفاهيم الفلكية بدرجة كبيرة وكان للمسلمين إنجازات كبيرة جداً في كل مناحي علم الفلك ، وكان لهم العديد من العلماء الأفاضل سواء في الفلك أو في سائر العلوم وكذلك في الفلسفة .

وتجلى شدة اهتمام العرب والمسلمين بالفلك بتعدد ذكر الظواهر الفلكية في أشعارهم ، نذكر منها وصف أبي الفضل الميكالي لاستتار الزهرة خلف القمر :

أما ترى الزهرة قد لاحت لنا تحت هلال لونه يحكى الذهب
ككرة من فضة مجلوة أوفى عليها صولجان من ذهب

أما ابن شبيل البغدادي فقال متحيراً في حركة أجرام السماء :

بريك أيها الفلك المدار أقصد ذا المسير أم اضطرار
مسارك قل لنا في أى شيء ففى أفهامنا منك انبهار

وسنكتفى هنا بوصف مختصر لأحد أهم الأجهزة الفلكية التى أجاد المسلمون صنعها واستخدامها .

الأسطرلاب : (Astrolabe)

كلمة يونانية معناها « مرآة النجوم » أطلقت على جهاز استخدمه علماء الفلك في أشكال مختلفة ، منها : الكروى والمستوى والخطى بحسب ما إذا

كانت تمثل الكرة « القبة السماوية » ذاتها أو مسقط « الكرة السماوية » على سطح مستو ، أو مسقط هذا السطح على خط مستقيم . ويستخدم الأسطرلاب في قياس اتجاهات الرياح وسرعاتها وتحديد الليل والنهار ومواقع النجوم وتحركاتها . وكان أكثر الأنواع شهرة الأسطرلاب المستوى « المسطح » ويمثل مسقط الكرة السماوية على سطح مستو . ويسمى بالعربية « ذات الصفائح » لكونه عبارة عن قرص من النحاس أو البرونز بقطر يصل إلى (٢٥) سنتيمترًا له عروة للتعليق تحفظه في وضع رأسي كما هو موضح بالشكل (٥) . ويتركب من :

الحلقة : وتسمى العلاقة ، وهي التي يعلق بها الأسطرلاب لأخذ الارتفاع والرصد .

العروة : وهي المتصلة بالحلقة والكرسى .

الكرسى : وهو ما بين العروة وآخر الأسطرلاب .

الأم : وهي الصفيحة الكبرى ذات الطوق الجامعة للصفائح .

الصفائح : وهي أقراص مستديرة ، وعددها يختلف في كل أسطرلاب من ثلاث إلى أكثر من عشر صفائح ، وهي مثلومة من جانبيها لتثبت في تنوء خاص داخل قرص مستدير من المعدن ، مقسم إلى ٣٦٠ درجة ومنقوش عليه أطوال وعروض بعض المدن والأماكن الهامة ، ويسمى سطحه الداخلى « الوجه » بينما يسمى سطحه الخارجى « الظهر » .

العنكبوت : وهو الشبكة ذات الثقوب والتنوءات التي تعين بعض الكواكب والنجوم ، وفيها عتبة لتحريكها .

العضادة : أو المسطرة وهي الساق المتحركة على ظهر الأسطرلاب ، ويؤخذ بها ارتفاع الشمس بالنهار والنجوم بالليل ، كما يعين بها بعض الأبعاد والمرتفعات الأرضية .

المحور : وهو القطب الممسك للصفائح والعنكبوت من ثقب في مراكزها .

الفرس : أو الحصان ، وهو الداخل من القطب الممسك ، له ويذكر

البيرونى أنه ألّف رسائل هامة فى « الأسطرلاب » وضع فى إحداها نظرية بسيطة لقياس محيط الأرض بدقة لا تختلف عن القيمة المعروفة حالياً . وهناك مؤلفات أخرى عديدة فى الأسطرلاب للكندى والمروى والزرقاتى والمجريطى وغيرهم .

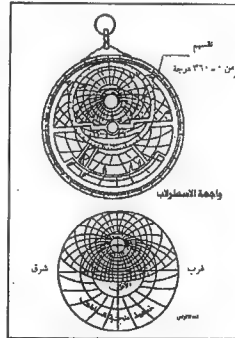
وقد شاع استعمال « الأسطرلاب » فى أوروبا فى القرن الرابع عشر الميلادى . لكنه ظل مستخدماً فى البلاد العربية والإسلامية حتى القرن التاسع عشر الميلادى .

والى جانب الأسطرلابات والساعات الشمسية والمائية كان هناك آلات رصد وقياس أخرى منها : ذات السميت والارتفاع ، والأرباع (ربع الأسطرلاب ، ربع الدائرة ، ربع الزرقالة ، الربع الجامع ، الربع التام ، الربع الكامل ، الربع الشمالى ، ..) ويست الإبرة (البوصلة) ، والبندول أو الرقاص الذى اكتشفه ابن يونس واستخدمه فى مرصده لمعرفة المدد الزمنية فى رصد النجوم ، كما استخدمه فى الساعات الدقاقة ، وكان ذلك قبل جاليليو بنحو ستمائة عام .

وقد اهتم كثير من العلماء المسلمين بعلم الفلك وسنعرض ملخصاً لأعمال أربعة من أبرز علماء الفلك المسلمين .



(منظر خلفي والمضاعفة)



واجهة الأسطرلاب وأحد الأقراص

البتاني

هو أبو عبد الله محمد بن جابر بن سنان البتاني ولد عام ٢٤٠ هـ . في العراق في بلدة بتان وكانت وفاته عام ٣١٧ هـ . وكان من أهم أعماله أنه أنشأ مرصداً عُرف باسمه في أنطاكية بسوريا وألف جداول تبين حركات النجوم والكواكب ومنها يمكن حساب التقويم .

وطور الآلات الفلكية المستخدمة في المرصد ودرس أبعد نقطة بين الشمس والأرض ، وبالتالي حسب طول السنة الشمسية وكانت تختلف بمقدار دقيقتين و٢٢ ثانية ، وحسب ميل دائرة البروج على دوران الأرض وكانت تختلف بمقدار ٤ دقائق ، واستنتج أن معادلة الزمن تختلف على مر الأجيال وأول من استخدم حساب المثلثات في خدمة الفلك واستخدم المثلث المتساوي لمعرفة ارتفاع الشمس في مكان ما وصاحب الزيج (جدول فلكي) الصابي وقد ترجمت مؤلفاته للغات أوروبية عديدة .

ابن يونس المصري

هو علي بن عبد الرحمن بن يونس الصدفي المصري . ولد بمصر عام ٣٤١ هـ وتوفي بها عام ٣٩٩ هـ . وكان من أهم إنجازاته أن ألف زيجاً كبيراً في أربعة أجزاء سماه « الزيج الحاكمي » وضم فيه جميع قرائن الكواكب ورصد كسوف الشمس وخسوف القمر عام ٣٦٨ هـ وصحح ميل دائرة البروج وزاوية اختلاف المنظر للشمس ومبادرة الاعتدالية ، وقد اكتشف علم اللوغاريتم واخترع الرقاص (البندول) لمعرفة الوقت أثناء رصد الكواكب وقد عرفه المسلمون باسم الموار .

البيروني

هو أبو ريحان محمد بن أحمد البيروني ولد بضاحية من ضواحي خوارزم عام (٣٥١هـ - ٩٧٣ م) وتوفي سنة (٤٤٠ هـ - ١٠٤٨ م) وقد كان فلكياً مرموقاً وعالمًا جليلاً . وقد تنقل بين العواصم العربية وعاش في الهند فترة كبيرة، وقد ألف كتاباً يعتبر موسوعة في الهيئة والنجوم يحتوي ١٤٣ باباً ، وبرهن حقائق علمية عن مساحة الأرض ونسبتها للقمر وعن الشمس وأنها مركز الكون

الأرضي وبعد الشمس عن القمر وأبعاد الكواكب عن بعضها وحسب مقدار التغير الذي يحدث لأبعد نقطة للشمس عن الأرض بناءً على أربعة أرباع بواسطة الحساب التفاضلي ، وكان أول من فكر في علم الجاذبية وحسب الوزن النوعي لثمانية عشر عنصرًا وحسب مساحة المثلث بدلالة أضلاعه ، وقسم الزاوية إلى ثلاثة أقسام بدون مسطرة وفرجار ، وشرح ظاهرة الشفق وحدد اتجاه القبلة وأثبت أن سرعة الضوء تفوق سرعة الصوت ، وحسب نصف قطر الأرض ومحيطها . وقد طبعت أكاديمية العلوم السوفيتية كتابًا باسم البيروني وكذلك فعلت الهند .

ابن الشاطر

هو أبو الحسن علاء الدين علي إبراهيم بن محمد الأنصاري ، ولد بمدينة دمشق سنة ١٣٠٤ هـ وتوفي سنة ١٣٧٥ هـ ، ودرس الفلك والرياضيات إلا أنه خصص نشاطه في مجال الفلك ، وقد قضى معظم حياته في وظيفة التوقيت ورئاسة المؤذنين في المسجد الأموي بدمشق ، ومن أبرز أعماله في مجال الفلك أنه قاس زاوية انحراف دائرة البروج وكانت بدقة أكثر من البتاني حيث كان الفرق ١٩,٨ ثانية فقط ، وألف ريجًا قدم فيه نماذج فلكية قائمة على التجارب والملاحظة والاستنتاج ، وله ابتكارات في صناعة الأسطرلاب وتصحيح المزولة الشمسية ، وصنع آلة لضبط وقت الصلاة سماها البسيط وفهم الحركة داخل المجموعة الشمسية بصورة صحيحة .



الفصل الثاني

إطلالة على الكون

الفلك والحياة	١-٢
أجرام السماء	٢-٢
مقاييس الكون	٣-٣

عندما نبعد عن المدينة وصخب أنوارها الصناعية ثم نرنو للسماء فى ليلة صافية انجلت عن صفحة سائها السحب وانقشعت الغيوم ، نرى النجوم تتلألأ بضياء مهيب ، فإذا أمعنا النظر لا نجد تلك النجوم وحيدة فى هذا الفضاء الفسيح بل نجد سحباً من الضياء ، كما نجد ما يشبه النجوم من أجرام قد تكون أكثر لمعائاً لكنها تنتقل على صفحة السماء من يوم لآخر ، قد نرى مشاعل من نور تمرق فى السماء متجهة إلى الأرض ، إلا أنها نادراً ما تصل وغالباً ما تتلاشى قبل أن تنال من الأرض قليلاً أو كثيراً . وقد يخطر لنا أن نستعين بمنظار علّه يفسر لنا بعضاً مما تبدى السماء من غموض ، ولو قد فعلنا لعجزنا عن مداراة ما نشعر به من انبهار مما تبدى السماء ونفكر فيما تخفى هذا التعدد والتنوع الكبيرين فيما تبدى السماء يوجب علينا أن نبدأ بإطلالة على الكون من بعيد نوجز فيها ما عرفنا مما يضم هذا الكون الغامض المهيب من أجرام ما زال كنه بعضها يستعصى على الفهم ويتحدى الإدراك .

٢ - الفلك والحياة :

للفلك فى حياة الإنسان أهمية كبيرة قد لا يبدو للإنسان العادى منها أكثر من الفوائد المباشرة للأجرام السماوية ، فالقمر والنجوم تبسّد حلّكة الظلمة أثناء الليل ، أما الشمس فهل بدونها تكون حياة . يمثل هذا دوراً هاماً للفلك لا يمكن إنكاره ، إلا أن للفلك أدواراً أخرى شديدة الأهمية والتأثير نوجز منها :

١ - تعريف وضبط نظم الإحداثيات الأرضية والسماوية : بما يمكن من تحديد الموقع على الأرض أو فى الفضاء .

٢ - ضبط الزمن : كان أول ما خطر للإنسان لضبط أمور حياته أن عرف اليوم بطول يقاس بدورة كاملة للأرض حول محورها بالنسبة للشمس . وبذلك يوائم بين حياته وبين قدوم الليل وبزوغ النهار ، ثم عرف السنة بدورة الأرض فى حركتها حول الشمس (أو بحركة الشمس الظاهرية كما رآها) وبذلك أمكنه ضبط شئون زراعته وغيرها تبعاً للمواسم المختلفة . ودوران الأرض حول محورها أو حول الشمس ما هى إلا ظواهر فلكية شغلت الفلكيين وما زالت وستظل ما دامت على الأرض حياة ويتطور علم الفلك تطورت دقة قياس الزمن وظهرت نظم أكثر

دقة للتقويم وصنعت ساعات دقيقة وصلت للساعة الذرية التي أمكن بواسطتها قياس الزمن بدقة تصل إلى ١٠-١٣ من الثانية . وقد يظن البعض أن صنع مثل تلك الساعات الدقيقة يلخى دور الفلك فى ضبط الزمن ، إلا أن العكس هو الصحيح ، فالمطلوب ليس مجرد قياس الفترات الزمنية ، بل ضبطها تبعاً لشئون الحياة ، ولذلك ونتيجة لعدم ثبات طول اليوم لاختلاف حركة الأرض حول محورها بتأثير المد والجزر وزحف القارات ، فقد ابتكرت الثانية الكيسية والتي أضيف منها ثانية كل سنة ابتداء من سنة ١٩٧٢ م .

٣ - الملاحة : فى البحر والجو وفى الفضاء والترحال عبر الصحارى الشاسعة التى تخلو من أى ملامح يستدل بها على موقع المسافر . وفى كل هذه الحالات يستخدم قياس ارتفاع الشمس نهاراً والنجوم ليلاً للاستدلال على الموقع الجغرافى . وللنجم القطبى أهمية خاصة فى هذا المجال حيث يساوى ارتفاعه (تقريباً) عرض المكان .

٤ - كان للفلك ، وما زال ، دور حيوى فى دفع علوم أساسية أخرى للتطور ، وقد أدى دأب العلماء على حل مشاكل الحركة فى المجموعة الشمسية وفهم أسرارها إلى ثورات متتالية فى علوم الميكانيكا والمعادلات التفاضلية والتحليل الرياضى والعديد ، بل إن بعض فروع الرياضيات البحتة مثل «التوبولوجى» بدأها عالم الميكانيكا السماوية الفرنسى الشهير «هنرى بوانكاريه» لتفسير بعض خصائص حركة الأجرام السماوية التى لم يمكن حل معادلاتها حتى الآن (وإبسطةا وأشهرها مسألة حركة الأجسام الثلاثة) . كذلك توفر النجوم وغيرها من أجرام السماء معامل هائلة لا يمكن توفير مثيل لها على الأرض ، وفى أحد هذه المعامل وهو الشمس اكتشف غاز «الهليوم» ولتفسير وجوده توصل العلماء لاكتشاف التفاعلات النووية الاندماجية ليس هذا فقط ، بل إن حرص الإنسان على البحث عن جيران له فى السماء دفعه لمحاولة دفع بعض دراسات علوم الحياة بصورة تسمح بالكشف عن صور للحياة قد توجد فى أرجاء أخرى من كوننا الفسيح .

٥ - كان للفلك وما زال الدور الأساسى فى نشوء «علوم الفضاء» وتطورها،

فلولا أبحاث حركة القمر والكواكب العميقة التي جرت منذ أواخر القرن الماضي لما أمكن إطلاق أول قمر صناعي في سنة ١٩٥٧ م ، ولولا الدراسات المسببة للوسط ما بين الكواكب لما قدر النجاح لأي رحلة فضائية . وبذلك فإن الإنسان يدين لعلم الفلك بكل ما ينعم به الآن كنتيجة للاستخدامات المختلفة للفضاء .

٦ - يتابع الفلكيون دائماً بواسطة مناظيرهم المختلفة كل الأجرام السماوية ومنها ما يقترب من الأرض من أجسام هائلة في الفضاء ، مثلما حدث منذ فترة من اقتراب وتحطم المذنب « شوميكر ليفي » . وبهذه المتابعة يمكن توقع أى أخطار قد تتعرض لها الأرض ومحاولة منعها أو الإقلال من آثارها .

٧ - أدت الدراسات الفلكية لتفسير الظواهر الفلكية المختلفة والاستفادة منها بدلاً من الرعب والخرافات التي كانت تصاحب ظواهر الخسوف والكسوف أو اقتراب مذنب من الأرض .

٢-٢ أجرام السماء Heavenly bodies

برغم أن علم الفلك يحظى باهتمام يجعل الجميع يحاولون معرفة ولو بعض المعلومات ، إلا أن تطوره السريع الذي لا يتوقف يجعل بعض ما يستجد يغيب حيناً عن متابعيه حتى المتخصصين منهم . ومن ثم يصبح من المفيد البدء باستعراض أجرام السماء الأساسية بإيجاز شديد .

(i) جيراننا في أسرة الشمس :

تضم أسرة الشمس كواكب تسعة هي بترتيب بعدها عن الشمس (عطارد ، الزهرة ، الأرض ، المريخ ، المشتري ، زحل ، يورانوس ، نبتون ، بلوتو) ويتوقع علماء الميكانيكا السماوية وجود كوكب عاشر لم يكتشف بعد يسمى كوكب X . يدور حول هذه الكواكب (عدا عطارد والزهرة) توابع تسمى بالأقمار يختلف عددها اختلافاً بيناً من كوكب لآخر وهي تدور في مدارات أكثر استطالة .

وبالإضافة للأقمار ، فإنه تحيط بالكواكب العظمية (المشتري ، زحل ، يورانوس ، نبتون) حلقات من حصى كبير أو صغير يختلف عددها من كوكب

لآخر . وتدور الكواكب حول الشمس في مدارات شبه دائرية . وحيث إن مدارى عطارد والزهرة يقعان داخل مدار الأرض فإنهما يقتربان للأرض بأكثر من اقترابها للشمس فيصل بعد الزهرة عن الأرض فى بعض الأحيان إلى ما لا يزيد عن ١٠٠ مرة قدر بعد القمر ، أما الكواكب الستة الأخرى فتدور خارج مدار الأرض . وأكبر الكواكب هو المشترى ويصل قطره حوالى ١٠ مرات قدر قطر الأرض لكنه لا يتعدى قطر الشمس .

بالإضافة للكواكب والأقمار تدور حول الشمس فى مدارات شديدة الاستطالة ، أجسام مارالت غامضة هى الشهب ، كما أن المنطقة ما بين مدارى المريخ والمشتري مأهولة بكتل صلبة من أحجار لا يتعدى قطر أكبرها حوالى ١٠٠ كم ، تسمى بالكويكبات يرجح أن تكون بواقى حطام كوكب كان إلى عهد قريب (حوالى ٥ مليون سنة) يشغل مداراً فى تلك المنطقة وإن وجدت نظرية تقول بأن الكويكبات (التى تتداخل مع مدار المشتري) تنتمى إلى مادة المشتري نفسه . وتلك الكويكبات هى مصدر الشهب التى نراها تمرق متوهجة فى سماء الأرض من وقت لآخر ، وما يكبرها بكتلة تسمح بتبقى بعضها دون أن يحترق فى الجو فتترطم بسطح الأرض فيما يسمى بالنيازك .

كل ما سبق أجسام صلبة معتمة تضىء بانعكاس ضوء الشمس عليها . أما الشمس نفسها فهى نجم غازى متوهج بتفاعلات نووية تسود باطنه ونشاط إلكترونى وأيونى ومغناطيسى لا يهدأ فى سطحها وجوها . وهى بين النجوم نجم لا يزال فى طور الشباب وهى نجم متوسط فى كل شئ ، وتصل درجة حرارة سطحها لحوالى ٦٠٠٠ درجة مئوية أما باطنها فيمور بحرارة تبلغ حوالى ٢٠ مليون درجة .

أما أقرب النجوم إلينا بعد الشمس فيبعد حوالى ٤,٣ سنة ضوئية (السنة الضوئية هى المسافة التى يقطعها الضوء فى سنة كاملة).

أما الفضاء فيما بين الكواكب فيشغله أتربة وغازات متنوعة منها المتعادل والمتأين ، كما أنه يمثل لشحنات سريعة تنطلق من الشمس فى جميع الاتجاهات تسمى الرياح الشمسية ، بالإضافة للحجارة النيزكية المنطلقة من منطقة الكويكبات، وبقيما ما يتحطم من شهب أو يفصل عنها من مادة .

وتقاس المسافات داخل المجموعة الشمسية بالوحدة الفلكية (AU) .
وهي متوسط بعد الشمس عن الأرض وقيمتها حوالى ١٤٩,٦٠٠,٠٠٠ كيلو
متر. أما عمر المجموعة فيقدر بحوالى ٥٠٠٠ مليون سنة للشمس بينما تصغر
الكواكب بعض الشيء . حيث يقدر أعمارها بما يناهز ٤٦٠٠ مليون سنة .

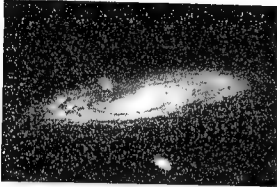
(ii) النجوم : Stars

النجوم كرات لهب غازية عظمى يمور باطنها بتفاعلات نووية يختلف كنهها باختلاف عمر النجم وهى بذلك تضىء ذاتيا بطاقة تنبعث منها . والنجوم لا تظهر منفردة بل فى مجموعات من أعداد محدودة ، وتلك المجموعات هى ما نسميها « الكوكبات » لكن تلك الكوكبات فى حقيقتها تجمع نجومًا ليس بينها أى صلات قرى غير ما تبدى لنا من أشكال سماها الأقدمون بما عايشوا من حيوان أو تخيلوا من كائنات . والنجوم أصناف تتنوع تبعًا لخواصها الفيزيائية التى تتحد تبعًا لمراحل عمرها ، ومعظمها تشابه الشمس وهذه تسمى نجوم التسابع الرئيسى ، وبعضها أكبر كثيرًا من الشمس فتسمى بالعمالقة أو فوق العمالقة ، والبعض الآخر أصغر كثيرًا من الشمس وتسمى الأقزام البيضاء ، ومن النجوم المستقر ، والمتغير (حجمًا وضياء) بل ومنها ما يتفجر فينفصل جزء من مكوناته سابقًا فيما يحيطه من فضاء الكون .

وما بين النجوم ليس فراغًا بل وسطا ماديا يموج بالمادة والطاقة ، وإن كانت كثافة أيها صغيرة بما لا يقارن بداخل النجم أو بأجوائه .

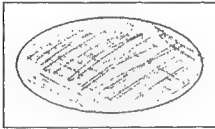
والنجوم ليست ساكنة هامة ، بل تتحرك حول مركز أسرتها الكبرى وهى المجرة ، كما أن النجوم توجد فى معظم الأحوال فى ثنائيات بل وحتى ثلاثيات تدور حول مركز كتلتها دورات أقصر كثيرًا من دورة ذلك المركز حول مركز المجرة .

(iii) المجرات Galaxies

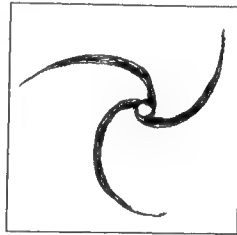


The Andromeda Galaxy - M31

تجمعات ضخمة من النجوم والأثرية والغازات ومن أمثلتها مجرتنا الخاصة ، وهى تقع من حيث الشكل فى ثلاث مجموعات رئيسية ، المجرات الإهليلجية يقل لمعانها بالبعد عن المركز ، وحلزونية وهى تتكون من نواة وأذرع لولبية تتجمع فيها النجوم والأثرية والغازات ، والنوع الثالث يسمى بالمجرات العدسية وهى وسط ما بين الإهليلجية والحلزونية .



مجرة إهليلجية



مجرة حلزونية



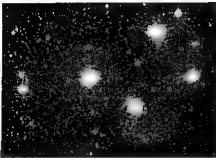
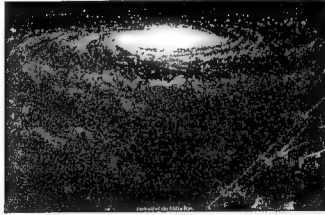
مجرة عدسية

وبالإضافة لتلك المجموعات الثلاث توجد مجموعة أخرى من المجرات غير منتظمة الشكل لا تنتمى لأى منها . ويقدر عدد المجرات بالكون طبقاً لأحدث أرساد منظار هبل الفضائى بمئات الآلاف من ملايين المجرات ، وكل مجرة تضم ما بين مليون إلى (ترليون) مليون مليون نجم .

(iv) المجرة (مجرة الطريق اللبنى أو درب التبانة)

The Galaxy (Milky Way Galaxy)

عندما يقال المجرة (دون إضافة للاسم) فإننا نعنى المجرة التى تضم أسرتنا من مجموعة الشمس ، وهى مجرة حلزونية قطرها حوالى ١٠٠ ألف سنة ضوئية ، وتقع المجموعة الشمسية على حافة أحد الأذرع الحلزونية على بعد حوالى ٣٣ ألف مليون سنة ضوئية من مركز المجرة ، والمجرة تضم حوالى ٢٠٠ ألف مليون نجم ، يرى منها بالعين المجردة حوالى ٦٠٠٠ نجم ، أما المنظر المتوسط فيمكنه رؤية الملايين منها ، وهى تدور حول مركزها بسرعة تختلف تبعاً للبعد عن المركز ، حيث تصل سرعة الدوران عند موقع الشمس لحوالى ٢٥٠ كم / ث ، أى أن زمن الدورة حوالى ٢٠٠ مليون سنة ، وبذلك تكون الشمس (ومجموعتها) قد أكملت حوالى ٢٥ دورة منذ نشأتها .



(v) السدم : Nebulae

كلمة (nebulae) تعنى السحب (clouds) باللاتينية ومفردها السديم (nebulae) . والسدم تجمعات شديدة الكثافة من الغاز والغبار ، وتبلغ كثافة المادة فيها ١٠٠٠ مرة مثل متوسط كثافة مادة ما بين النجوم وقد يحتوى السديم على بعض النجوم التى تتكون من تكثف بعض أجزائها لتكون هذه النجوم . والسدم قد تكون وضاءة أو معتمة . والسدم الوضاءة تضىء إما بضوء ينتج من داخلها كنتيجة لتأين ذراتها وتأثير الأشعة فوق البنفسجية من النجوم المجاورة عليها ، أو تشتت ضوء تلك النجوم على مكوناتها . وسديم الجبار أحد الأمثلة الشهيرة لتلك السدم . أما السدم المعتمة فتبدو فى السماء كبقع مظلمة نتيجة لامتصاص الغبار والغاز ما بين النجوم للضوء الصادر منها .

(vi) حشود النجوم : Star clusters

تجمعات نجوم تشترك فى الحركة فى الفضاء ، وأهمها نوعان : الحشود المجرية أو المفتوحة ، والحشود الكرية ، والأولى تضم ما بين ١٠ إلى ١٠٠٠٠ نجم موزعة (بكثافة صغيرة) على حيز يمتد ما بين ١٥ إلى ٤٠ سنة ضوئية حول مستوى استواء المجرة ، والنواة والأذرع اللولبية ، أما الحشود الكرية فيضم الحشد ما بين ١٠٠٠٠٠ ومليون نجم مضغوطة فى حيز من الفضاء يمتد ما بين ٧٥ إلى ٤٠٠ سنة ضوئية ، ويضم الطريق اللبنى حوالى ١٥٠ حشد كرى فى منطقة كروية تحيط بالمجرة وتسمى الهالة . ومن أشهر أمثلة الحشود المفتوحة «الثريا» فى كوكبة الثور ، أما الحشود الكرية فأشهرها « سى ١٣ » تلك الواقعة فى كوكبة « النجم الجائى على ركبته » .

(vii) حشود المجرات : Clusters of Galaxies

لا توجد المجرات منفردة بل فى نظم من كل الأحجام ، فمنها الثنائية ، ومنها مجموعات (وهى السائدة) تتكون من عشرات قليلة من المجرات مثل المجموعة المحلية التى تضم ٢٠ مجرة تشغل منطقة قطرها حوالى ٣ مليون سنة ضوئية ، ومنها مجرة « أندروميديا » Andromeda .

ويسمى النظام المجرى حشداً إذا زاد عدد أعضائه عن ٥٠ مجرة لأمعة . كذلك قد تتجمع مجموعات المجرات أو حشودها لتكون نظاماً أكبر تسمى «الحشود الفائقة» ، وعلى سبيل المثال تنتمى المجموعة المحلية إضافة إلى حوالى ٥٠ حشداً آخر للحشد الفائق المحلى الذى يقع مركزه فى حشد العذراء (VIRGO) الذى يبعد حوالى ٦٠ مليون سنة ضوئية .

(viii) أشباه النجوم : Quasars

وهي أبعد الأجرام عنا والتي أمكن رصدها عام ١٩٦٣ ، وتبدو صغيرة بحيث لا يتعدى حجمها حجم مجموعتنا الشمسية ، وتتحرك بسرعات تقارب سرعة الضوء . وهي تشع إشعاعاً كثيفاً ، ويتغير لمعانها كما لو كانت مجرات متغيرة . والضوء الذى يصلنا الآن من معظم أشباه النجوم انبعث منها والكون عند $\frac{1}{3}$ عمره الحالى .

(ix) أجسام عرقت حديثاً ،

تشكل النجوم الكثيفة أحد أهم ما عرفه الفلكيون حديثاً ، وتلك الأجرام هي :

(أ) النجوم النيوترونية : Neutron Stars

وهي نجوم صغيرة شديدة الكثافة تمثل مرحلة متأخرة فى تطور النجوم ، وقد عانت تلك النجوم انهياراً ثاقباً هائلاً أدى إلى انضغاط الإلكترونات والبروتونات لتكون نيوترونات . وكثافة تلك النجوم تتراوح ما بين ١٣١٠ - ١٥١٠ جم / سم^٣ ، ويتراوح قطرها ما بين ١٠ - ٢٠ كم ودرجة حرارة مركزها حوالى ١٠٠٠ مليون درجة ، ولها مجال مغناطيسى شديد يصل لحوالى ١٢١٠ جاوس ، ولتصور مدى انضغاط المادة داخل تلك النجوم نذكر أن نجماً نيوترونياً فى كتلة الشمس لا يزيد نصف قطره عن ١٠ كيلو مترات (نصف قطر الشمس ٦٩٦٠٠٠ كيلو متر) .

(ب) النجوم النابضة : Pulsars

هي نجوم نيوترونية لوحظ وجودها أول مرة سنة ١٩٦٧ م وهي مصدر متغير للإشعاع الراديو تبعث بتلك الموجات بدورات شديدة الانتظام تتراوح ما بين ٠.٣ د إلى ٥ ثوان . وكان أول ما شوهد منها سنة ١٩٦٩ م فى سديم السرطان ، ثم اكتشف منها بعد ذلك أعداد كبيرة .

(ج) الثقوب السوداء : Black holes

هي مناطق محدودة من فضاء الكون لا يمكن لأى مادة أو طاقة أن تهرب منها ، بمعنى أن سرعة الهروب منها تتجاوز سرعة الضوء . وتنبأ النظريات أن الثقب الأسود يمكن أن يتكون عندما يمر نجم ثقیل بعملية انهيار ثاقبى كامل . فالنجم حتى كتلة ١,٤ كتلة الشمس ينهى حياته كقزم أبيض ، ويموت ذلك الأثقل قليلاً كنجم نيوترونى ، أما إذا تعدت الكتلة ٣ أمثال كتلة الشمس يثوى النجم كثقب أسود ، وفى تلك الحالة يكون نصف قطر الثقب الأسود ٩ كم إذا

كانت كتلته ٣ أمثال الشمس وتستطيع قوة الثقالة المركزة للثقب الأسود جذب كل ما يقترب منه من مادة أو طاقة .

والثقوب السوداء لم تكتشف بالرصد حتى الآن ، وحيث لا يمكن للضوء أو غيره من صور الطاقة الهروب من الثقب الأسود ، فإن الكشف عنها شديد الصعوبة . ولكن لحسن الحظ تدور أى مادة تلاقى ثقباً أسود (على الأرجح) فى مدار حوله قبل أن تسقط عليه . وبذلك يتكون قرص من المادة المقتنصة يدور بسرعة كبيرة حول نفسه ويتوقع أن تشع مثل هذه المادة كمّاً كبيراً من الأشعة السينية يمكن الكشف عنها .

٢ - ٣ مقاييس الكون : Scales of the Universe

فى علم الفلك تكاد الأعداد التى نتعامل بها فى حياتنا اليومية تفقد معناها، فالمسافات فى الكون هائلة ، والكتل ضخمة ، ودرجات الحرارة تبلغ قيماً غير معتادة.

لذا يفضل قبل التحدث عن مقاييس الكون أن نتفق على نظام مبسط لتسجيل الأعداد.

لنتعود من الآن فصاعداً على كيفية التفريق بين الكميات ١ ، ١٠ ، ١٠٠ ، ١٠٠٠ ، مليون ، ألف مليون ، ٣٣١٠ . وعلمنا أن ندرك أننا إذا تعاملنا مع العدد ١٢١٠ فلن يهم كثيراً أن نضيف إليها أعداداً مثل ٣ أو ٧ مثلاً . والمشكلة فى التعامل مع الأرقام الفلكية أنها غير معتادة بأى صورة حتى للعاملين فى مجالات علمية أخرى ، بل إن بعض الناس لا يعرفون أكثر من العدد ٢ فيعدون ١ ، ٢ ، كثيراً . والأمريكيون على سبيل المثال يفكرون فى أى رقم كبير على أنه مليون . يضاف لتلك المشكلة أن أسماء بعض الأرقام تحمل معانى مختلفة من بلد لآخر ، فمثلاً المليون مليون تسمى تريليون فى الولايات المتحدة بينما تسمى بليون فى أوروبا . لذلك لن نذكر أسماء لأرقام تزيد عن المليون ، وبذلك سوف نعمل دائماً على قوى الرقم ١٠ ، أى عدد الأصفار يمين الرقم (١) .

بعد أن اتفقنا على نظام الأعداد نستعرض الآن بعضاً من أمثلة توضيح مدى التباين الذى يكاد يتعدى حدود التصور بين ما على الأرض وما يدخل فى إطار المجموعة الشمسية وما يتعدها داخل المجرة أو فى أرجاء أخرى من الكون .

(١) مقاييس المسافة : Distance Scales

يكفى على الأرض أن نقيس المسافات بالكيلومتر ، بل وفى بعض الأحيان بالستيمتر ، وفى داخل المجموعة الشمسية نستخدم الوحدة الفلكية ، أما خارجها

فتفقد كل تلك الوحدات معناها وتزول جدواها ، ولنلجأ لذلك لاستخدام السنة الضوئية (٩,٢٨ × ١٢١٠ كم) .

ولتسهيل المقارنة وإيضاح كيف تتلاشى المسافات على الأرض وداخل المجموعة الشمسية إذا ما قورنت بالمسافات الكونية الأخرى ، سوف نذكر كل المسافات في الجدول التالي مقاسة بالسنة الضوئية :

مقياس المسافات الكونية

المسافة	مقدارها (سنة ضوئية)
نصف قطر الأرض	$10^{-10} \times 6,87$
نصف قطر الشمس	$10^{-8} \times 7,5$
بعد القمر عن الأرض	$10^{-8} \times 4,1$
بعد الأرض عن الشمس	$10^{-5} \times 1,6$
بعد بلوتو عن الشمس	$10^{-4} \times 6,3$
بعد الشمس عن أقرب النجوم (ألفا قنطورس)	٤,٢
بعد الشمس عن مركز المجرة	٢٥٠٠٠ - ٣٠٠٠٠
بعد الطريق اللبنى عن أبعد مجرات المجموعة المحلية (مافى ١ Maffei 1)	٣,٢ مليون
« قطر مافى ١ » أقرب المجرات للطريق اللبنى	١٠٠٠٠٠
سحابة ماجلان الصغرى	١٩٦٠٠٠
سحابة ماجلان الكبرى	٢١٠٠٠٠
المجرات الخارجية	
مجرة اندروميد (المرأة المسلسلة)	٢,٢ مليون
مجرة هورليول (الدردور)	٣٧ مليون
مجرة كاريمويل (عجلة المرية)	٥٠٠ مليون
أبعد المجرات المعروفة	< 10000 مليون
أبعد الأجسام المرئية (أشباه النجوم)	١٥٠٠٠ مليون إلى ٢٠٠٠٠ مليون
قطر الكون (المقدّر)	١٥٠٠٠ مليون إلى ٢٠٠٠٠ مليون

(ب) مقاييس الزمن : Time Scales

دورة الأرض حول محورها ٢٣ ساعة و ٥٦ دقيقة

دورة الأرض حول الشمس ٣٦٥,٢٥ يوم = سنة

دورة بلوتو حول الشمس ٢٤٨,٤٣ سنة

دورة الشمس حول مركز المجرة ٢٠٠ مليون سنة

(ج) مقاييس الكتلة : Mass Scales

كتلة ذرة الهيدروجين = $1,673 \times 10^{-27}$ جم

كتلة الأرض = $5,977 \times 10^{24}$ جم

كتلة الشمس = $1,989 \times 10^{30}$ جم

كتلة المجرة = ١٠٠٠٠٠ مليون قدر كتلة الشمس

= $1,989 \times 10^{30}$ جم

هل لنا أن نتساءل الآن كيف تكون الأرض كتلة وحجمًا إذا قيس بمقاييس

الكون خارج المجموعة الشمسية ؟



الفصل الثالث

كرة الأرض وكرة السماء

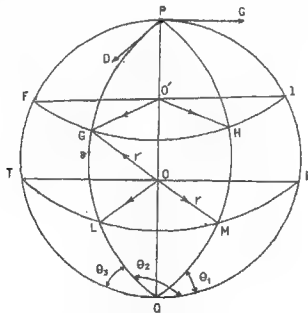
The Terrestrial and Celestial Sphere

حساب المثلثات الكروي	١-٣
طرف عن الأرض	٢-٣
الإحداثيات الأرضية	٣-٣
كرة السماء	٤-٣
الإحداثيات السماوية	٥-٣
قياس الزمن	٦-٣
التقاويم	٧-٣

جاء فيما أوردنا عن الفلك قديماً ذكر كرة يهياً لنا أن النجوم تقع عليها ، وعليها تحدد مواقع تلك النجوم . كذلك الأرض إذا أردنا لها شكلاً هندسياً بسيطاً فأقرب ما تشابهه هو الكرة ، بذلك نشأ أحد أهم فروع علم الفلك وهو الفلك الكروي . يهتم هذا الفلك الكروي بدراسة نظم الإسناد على الأرض وفي السماء ، والاتجاهات والتحركات الظاهرية للأجرام السماوية ، وتعيين مواقع تلك الأجرام باستخدام الأرصاد ، وتصحيح أى أخطاء فى هذه الإحداثيات أو تغير فيها يحدث مع الزمن أو لآى أسباب أخرى . والفصل الحالى يوجز من أساسيات هذا العلم ما لا يجب أن يغيب عن أى مبتدئ فى دراسة علم الفلك .

٣-١ حساب المثلثات الكروي :

إذا قطع مستوى كرة فإنه يقطعها فى دائرة . فلو مر المستوى بمركز الكرة سميت الدائرة الناتجة « دائرة عظمى » ذلك أن نصف قطرها هو نصف قطر الكرة نفسها . أما إذا بعد عن المركز كانت الدائرة « دائرة صغيرة » نصف قطرها أقل من نصف قطر الكرة ويقل بالبعد عن مركزها . ويسمى طرفا القطر العمودى على أى دائرة بقطبي تلك الدائرة . ولا يمكن أن يمر بنقطتين على سطح الكرة غير



شكل (١) الدوائر العظمى والدوائر الصغيرة

دائرة عظمى واحدة ، إلا إذا وقعت النقطتان على طرفى نفس القطر ، ففى هذه الحالة تكون كل الدوائر المارة بهما دوائر عظمى وتكون أقل مسافة بين نقطتين على سطح الكرة على امتداد الدائرة العظمى المارة بهما ، وسبب ذلك أنها الأقل انحناء . وتقاس الزاوية بين دائرتين عظميين إما بالزاوية بين مستوييهما أو بطول قوس الدائرة العظمى العمودية عليهما ونصف قطرها الوحدة .

ويسمى جزء الكرة المحصور بين نصفى دائرتين عظميين هلالا (Lune) .

ومساحة الهلال = ضعف راويته (بالتقدير الدائرى) \times مربع نصف القطر .

أمثلة توضيحية : فى شكل (١)

- PQRT دائرة عظمى .

- TLMR نصف دائرة عظمى قطباها P , Q .

- FGHI نصف دائرة عظمى قطباها P , Q (لأنها توازى TLMR) .

- أصغر مسافة بين نقطتى L , M على سطح الكرة هى القوس LM من الدائرة العظمى TLMR .

- الزاوية بين الدائرتين العظميين PRQT و PGLQ هى الزاوية DRC أو القوس LM مقسوماً على π .

- PMQRI هلال راويته Θ_1 .

- PLQTI هلال راويته Θ_2 .

- PTQL هلال راويته Θ_3 .

- PLQMH هلال راويته DPC .

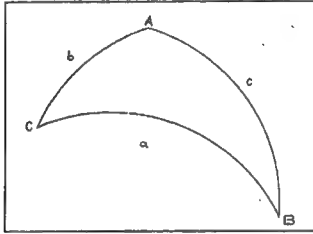
ولأننا لا يهمنا مقدار نصف قطر الكرة فقد اتفق على اعتباره مساوياً للوحدة ما دما نتعامل مع نقاط تقع على سطح نفس الكرة وبذلك تكون :

الزاوية بين PRQ , PMQ = MR

الزاوية بين PRQ , PLQ = LR

الزاوية بين PMQ , PLQ = LM

والمثلث الكروي : شكل على سطح الكرة ذو ثلاثة رؤوس ينتج من تقاطع ثلاث دوائر عظمى . مثال ذلك فى شكل (١) المثلثات QLM , PLT أما PGF أو PGH فليسا مثلثين كرويين لأن F ، FH ليسا قوسين من دوائر عظمى . ويمكن تلخيص أهم خواص المثلث الكروي كالآتى (شكل ٢) .



شكل (٢) مثلث كروي

* مجموع الاضلاع أقل من 2Π

$$a + b + c < 2\Pi \quad (1)$$

مجموع الزوايا أكبر من Π وأقل من 3Π

$$\Pi < A + B + C < 3\Pi \quad (2)$$

تسمى زيادة مجموع الزوايا عن Π بالزيادة الكروية (Spherical excess)

$$E = (A + B + C) - \Pi \quad (3)$$

ومقدار الزيادة الكروية يختلف من مثلث لآخر

مساحة المثلث الكروى (σ)

$$\sigma = E r \quad (4)$$

حيث r نصف قطر الكرة التى يقع المثلث على سطحها .

وترتبط أضلاع المثلث الكروى بالعلاقات الآتية ، مع مراعاة أن الأضلاع

تقاس بقدر الزوايا التي تحصرها عند مركز الكرة :

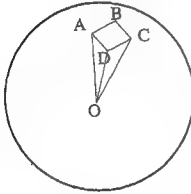
$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \quad (5)$$

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} \quad (6)$$

$$\cos a \cos B = \sin a \cot c - \sin B \cot C \quad (7)$$

$$\sin a \cos C = \cos c \sin b - \sin c \cos b \cos A \quad (8)$$

وتقاس المساحات على سطح الكرة إما بالدرجات المربعة أو بالزوايا نصف القطرية المربعة .



فإذا رسمناها هرمًا رأسه عند مركز الكرة O وكانت أحرفه تحصر زوايا مقدارها درجة واحدة ، فإنه يقطع سطح الكرة في مساحة يحصرها أربعة أقواس طول كل منها درجة واحدة .

هذه المساحة أو أى مساحة تكافئها ، بغض النظر عن شكلها ، تساوى درجة مربعة واحدة . وفي الهرم المرسوم في شكل (٣) إذا كان

شكل (٣) الدرجة المربعة

$$\angle AOB = \angle BOC = \angle COD = \angle DOA = 1^\circ$$

فإن الهرم يقطع الكرة في الشكل ABCD حيث الأقواس

$$\widehat{AB} = \widehat{BC} = \widehat{CD} = \widehat{DA} = 1^\circ$$

وبذلك تساوى المساحة ABCD درجة مربعة واحدة .

٢-٣ طرف من الأرض :

الأرض كرة منبعجة نصفها الجنوبي أكبر قليلاً من الشمالي فهي أقرب في شكلها لثمرة الباذنجان (Eggplant) وهي تدور حول محورها من الغرب إلى الشرق فتكمل دورة كل يوم . ومحور الأرض يقطع سطحها في القطب الشمالي P والقطب الجنوبي Q . والمستوى العمودي على محور دوران الأرض يقطع سطحها في الدائرة العظمى TR وتسمى خط الاستواء . كما تسمى أنصاف الدوائر

شكل (٤) الكرة الأرضية

٣-٣ الإحداثيات الأرضية :

يحدد موقع أى مكان X على سطح الأرض بواسطة إحداثيين هما طول المكان وعرضه . لتحديد هذين الإحداثيين نرسم خط الطول PXLQ المار بالمكان ليقطع خط الاستواء فى L . فيكون بعد المكان XL عن خط الاستواء مقياساً على خط الطول هو عرض المكان ϕ' (وهو يساوى الزاوية XOL) وتتراوح قيم ϕ' من صفر (على خط الاستواء) إلى $+ 90^\circ$ (عند القطب الشمالى) شمالاً . وإلى $- 90^\circ$ (عند القطب الجنوبى) جنوباً .

أما طول المكان λ فهو الزاوية بين خط الطول الأساسى PGQ وخط الطول المار بالمكان ، ويقاس من صفر (على خط الطول الأساسى) إلى 180° غرباً أو شرقاً . وعادة تعتبر الأطوال الشرقية سالبة والغربية موجبة . ويسمى القوس $\phi - 90^\circ = px$ تمام العرض . والأماكن التى لها نفس العرض تقع على دائرة

صغرى موازية لخط الاستواء ، وتسمى هذه الدائرة دائرة العرض ومثالها الدوائر GH , Jxk فى شكل (٤) .

ويلاحظ أن الأرض تكمل دورة حول محورها كل ٢٤ ساعة أى أن :

$$360^\circ \equiv 24 \text{ ساعة} .$$

$$1^\circ \equiv ١٥ \text{ ساعة} .$$

وبذلك يعنى فرق الطول بمقدار 15° فرقاً زمنياً مقداره ١ ساعة . يسمى العرض المعروف أعلاه العرض المركزى . ولكن حين نذكر العرض فإننا نقصد العرض الجغرافى وهو الزاوية بين خط الرأس ومستوى الاستواء . ويتساوى العرضان المركزى والجغرافى إذا كانت الأرض كاملة الاستدارة . فإذا أخذت تضاريس سطح الأرض فى الاعتبار فإن خط الاستواء يكون متعرجاً ولا يقع فى مستوى واحد ويكون العرض فى هذه الحالة هو « العرض الفلكى » ويعرف بأنه المتمم للزاوية بين اتجاه الرأس واتجاه الشمال الجغرافى .

العرض الجغرافى :

إذا أهملنا تضاريس سطح الأرض فلإن شكلها المتوسط يمكن أن يمثل بمستوى سطح المحيط ، وهذا السطح يسمى « الجيؤويد » وهو أقرب ما يكون لشكل « كرة منبعدة » أو « قطع ناقص دورانى » كما فى الشكل (٥) . فيكون مقطعها الاستوائى دائرة نصف قطرها a ومقطعها العمودى على خط الاستواء قطع ناقص نصف قطره الأكبر a ونصف قطره الأكبر b . وفى سنة ١٩٧٩ م أقر الاتحاد الفلكى الدولى للقيم التالية :

$$a = 6378.140 \text{ km}$$

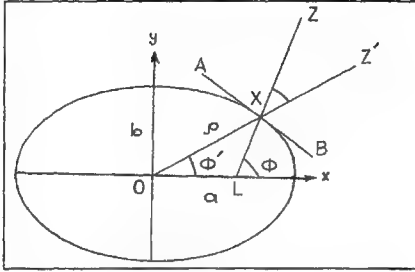
نصف القطر الاستوائى

$$b = 6356.755 \text{ km}$$

نصف القطر القطبى

$$F = \frac{a-b}{a} = 0.0033528 \text{ (Flattening)}$$

مقدار التفلطح

شكل (٥) العرض الجغرافي ϕ والعرض المركزي ϕ'

إذا كان X أحد الأماكن على سطح الأرض وكان AB مماساً للجيؤريد عند X ، يكون اتجاه الرأس هو الاتجاه ZXL العمودي على هذا المماس ، وبالتالي يكون العرض الجغرافي للمكان X هو الزاوية ϕ بين XL ومستوى الاستواء OLX . أما الزاوية بين OXZ وبين مستوى الاستواء فتمثل العرض المركزي ϕ' .
العلاقة بين ϕ و ϕ' : من هندسة القطع الناقص في شكل (٥) والذي يمثل خط البطول المار بالموقع X .

$$y = p \sin \phi' , X = p \cos \phi$$

حيث p نصف قطر الأرض عند X ويكون :

$$\tan \phi' = y / x \quad (9)$$

ولكن معادلة القطع الناقص هي :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

ومنها

$$\tan \phi = \frac{-1}{\left(\frac{dy}{dx}\right)} = \frac{a^2}{b^2} \left(\frac{y}{x}\right) \quad (10)$$

من المعادلتين (9) و (10) نجد أن :

$$\tan \phi = \frac{a^2}{b^2} \tan \phi \quad (11)$$

ويسمى الفارق ' $\nu = \phi - \phi$

بزواية الرأس ، وأقصى قيمة لتلك الزاوية ١١,٥' عند عرض ٤٥°.

الميل البحرى :

تسمى الدقيقة القوسية على امتداد أى خط طول بالميل البحرى . وحيث إن انحناء خطوط الطول يختلف تبعاً لعرض المكان ، فقد اتفق على تعريف الميل البحرى بأنه دقيقة قوسية عند عرض ٤٥° وبذلك فإن :

١ ميل بحرئ = ١٨٥٢ متر

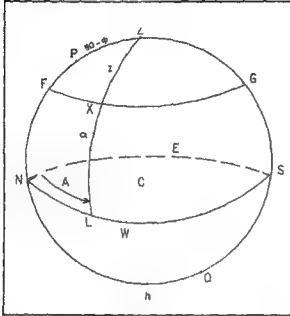
٣- ٤ كرة السماء (Celestial Sphere) :

إذا تخيلنا أنفسنا داخل كرة ضخمة شفافة ننظر من خلالها لأجرام السماء فإن ما يصلنا من شعاع من ضوء كل منها يقطع تلك الكرة فى نقطة يتوحد اتجاهها مع اتجاه الشعاع ، إذن فتلك الكرة تمثل قبة السماء ، ولو رسمنا عليها دوائر عظمى كتلك التى عرفناها على سطح الأرض أمكننا تعريف محاور إسناد بواسطتها تحدد مواقع الأجرام السماوية . تلك الكرة التخيلية هى ما نسميها «الكرة السماوية» وهى تدور بالنجوم من الشرق إلى الغرب بنفس قدر دوران الأرض من الغرب إلى الشرق فتحمل النجوم وغيرها من أجرام السماء تحت الأفق لتغرب ثم باستمرار الدوران تعيد رفعها فوق الأفق لتشرق من جديد ، وحيث إن مفهوم تلك الكرة يقصد إلى تعيين اتجاهات الأجرام السماوية وليست أبعادها ، فإن قيمة نصف قطر الكرة لا تهمنا فى قليل أو كثير ، ومن ثم فإننا نعتبره مساوياً للواحد الصحيح .

٣- ٥ الإحداثيات السماوية :

يعرف موقع أى جرم سماوى بإحداثيين مشابهين للعرض والطول على سطح الأرض . وتوجد نظم مختلفة تعرف بواسطتها تلك الإحداثيات .

١ - النظام الأفقي :



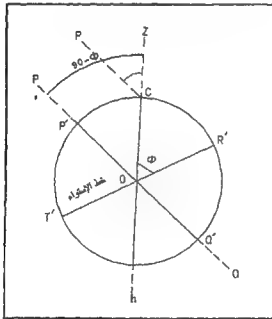
شكل (٦) الكرة السماوية وإحداثيات الأفقية

هي أقرب الإحداثيات السماوية لإدراك الإنسان . وقبل أن نصف تلك الإحداثيات نوجز التعريفات التالية :

مستوى الأفق : هو المماس لسطح الأرض يمتد بموقع الراصد .

الأفق السماوي (أو الأفق): هو الدائرة العظمى الناتجة من تقاطع مستوى الأفق مع الكرة السماوية .

السمت والنظير : هما النقطتان على الكرة السماوية رأسياً فوق الراصد وتحت قدميه ، على الترتيب .



شكل (٧)

الدوائر الرأسية : هي الدوائر المارة بكل من السمت والنظير وهي عمودية على الأفق .

القطبان السماويان : هما النقطتان على الكرة السماوية الناتجتان من تقاطع محور دوران الأرض معها ، وهما شمالي وجنوبي تبعاً لنظيريهما على الأرض .

وشكل (٧) يوضح الأرض O والراصد C ونقطتي السمت (Z)

والنظير (n) لهذا الراصد . وفي الشكل $P'Q'$ هو محور دوران الأرض وبذلك يكون P هو القطب السماوى الشمالى و Q هو القطب السماوى الجنوبي . ومن الشكل يتضح أن الزاوية بين اتجاه السمّت واتجاه P مقدارها $(\phi - 90^\circ)$.

دائرة الزوال : هى نصف الدائرة الرأسية المارة بالقطبين السماويين . وتسمى الدائرة الكاملة $PZQN$ دائرة نصف النهار .

الجهات الأصلية : هى النقاط الأربع على الأفق الممثلة للشمال N (أسفل القطب الشمالى P مباشرة) والجنوب S (نظيره N بالنسبة للقطب الجنوبي Q) ، والشرق E والغرب W ويعرفان بالنسبة للشمال والجنوب تبعاً للقاعدة الجغرافية المعروفة وهذه النقاط موضحة فى شكل (٦) .

والآن يمكن تعريف الإحداثيات الأفقية

الإحداثيات الأفقية:

نرسم الدائرة الرأسية المارة بالجسم السماوى X (شكل ٦) فيكون الإحداثيان المطلوبان هما :

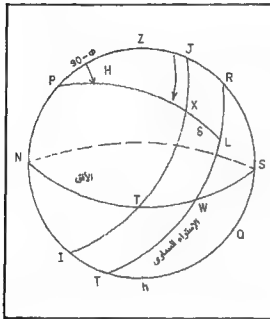
الارتفاع (a) : هو المسافة XL بين النجم X وبين الأفق مقاسة على الدائرة الرأسية . وتتغير قيمة الارتفاع ما بين صفر على الأفق ، 90° عند السمّت ، -90° عند النظير . ومن الواضح أن القيم السالبة تعنى أن الجسم تحت الأفق أى أنه فى تلك اللحظة لا يظهر لراصد عند نقطة C على سطح الأرض . وتسمى المسافة Z $zx =$ المسافة السمّية $(a - 90^\circ = Z)$.

الزاوية السمّية (A) : هى الزاوية بين الدائرة الرأسية المارة بالجسم وبين دائرة الزوال . أى أنه القوس على الأفق بين النقطة L وبين تقاطع دائرة الزوال مع دائرة الأفق . وزاوية السمّت ليس لها نقطة بدء محددة متفق عليها فيمكن أن تقاس من N شرقاً وغرباً من صفر إلى 180° ، ويمكن أن تقاس إما من N أو من S شرقاً أو غرباً من صفر حتى 360° .

والدوائر الصغرى الموازية للأفق (مثل FXG) تتساوى قيم الارتفاع لكل الأجرام الواقعة عليها ، لذا تسمى دوائر الارتفاع . كذلك فإن قيمة زاوية السمّت تكون ثابتة بالنسبة لكل دائرة رأسية .

ومن الواضح أن الارتفاع والزوايا السميتة لأي نجم يتغيران من مكان لآخر ومن لحظة لأخرى .

٢ - النظام الاستوائى : I



شكل (A)

الاستواء السماوى : يقطع مستوى الاستواء الأرضى الكرة السماوية فى دائرة عظمى، هى دائرة الاستواء السماوى . وقطباً هذه الدائرة (TR فى شكل ٨) هما القطبان السماويان P , Q . والاستواء السماوى هو الدائرة الأساسية فى هذا النظام .

دوائر الساعة : هى أنصاف الدوائر المارة بالقطبين السماويين الشمالى والجنوبى . بذلك يمكن تعريف دائرة الزوال بأنها دائرة الساعة الرأسية .

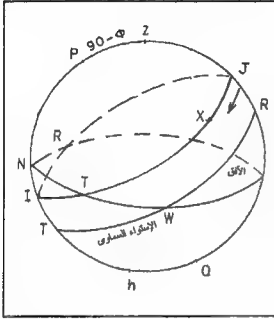
يمكن الآن تحديد موقع X بالإحداثيين :

زاوية الميل (δ) : هى البعد XL بين X والاستواء السماوى مقاسة على دائرة الساعة المارة بالجسم X . وقيم δ تقع ما بين صفر (على خط الاستواء) إلى $\pm 90^\circ$ عند القطبين (موجب شمالاً وسالب جنوباً) .

وتسمى المسافة $P = 90^\circ - \delta$ المسافة القطبية الشمالية وتقع الأجسام ذات الميل الواحد على دائرة صغرى موازية لخط الاستواء تسمى دائرة الميل (مثل IXJ فى شكل ٨) .

زاوية الساعة (H) : هى الزاوية بين دائرة الزوال وبين دائرة الساعة المارة بالجسم . وهى تقاس بدءاً من صفر (على دائرة الزوال عند J) غرباً إلى 360° . ويمكن قياس زاوية الساعة من صفر حتى ٢٤ ساعة .

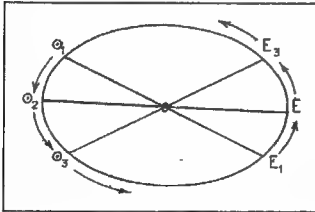
٣ - دوائر الحركة اليومية :



شكل (٩) الحركة اليومية للنجوم

نتيجة للدوران الأرض في حركتها اليومية حول محورها من الغرب إلى الشرق ، تدور الكرة السماوية حول نفس المحور في حركة يومية من الشرق إلى الغرب ، وبذلك ترسم النجوم دوائر صغيرة حول محور الكرة السماوية ، وبذلك تكون تلك الدوائر موازية لخط الاستواء .

بفرض أن أحد النجوم كان في لحظة معينة عند X ، بمرور الوقت يتحرك النجم غرباً على دائرة الحركة اليومية XTJR حتى يغرب تحت الأفق عند T ويظل في حركته تحت الأفق حتى يصل لأقصى انخفاض له تحت الأفق عند I حيث يعبر دائرة الزوال فيسمى هذا عبوراً سفلياً (Lower culmination or lower transit) ثم يبدأ في الارتفاع تجاه الأفق مرة أخرى ليشرق عند R ، ويستمر مرتفعاً فوق الأفق حتى يصل لأقصى ارتفاع له عند J حيث يعبر دائرة الزوال عبوراً علوياً (Upper culmination on upper transit) بعدها يبدأ في الهبوط تجاه الأفق .



شكل (١٠) مدار الشمس الظاهري

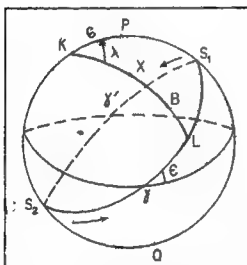
٤ - حركة الشمس

الظاهرية حول الأرض :

تدور الأرض حول الشمس في حركتها السنوية من الغرب إلى الشرق في مدار بيضاوي (شبه دائري) . لكن بالنسبة لراصد على الأرض تبدو

الشمس كما لو كانت هي التى تدور حول الأرض فى نفس الاتجاه ، فإذا كانت الأرض عند E_1 تبدو الشمس على الكرة السماوية عند Θ_1 (يرمز للشمس عادة بالرمز \odot) فإذا تحركت الأرض إلى E_2 ثم E_3 تبدو الشمس كما لو كانت قد تحركت إلى Θ_2 ثم إلى Θ_3 .

ويقطع مستوى مدار الأرض حول الشمس الكرة السماوية فى دائرة عظمى $(\gamma \gamma' S_1 S_2)$ تسمى الدائرة الكسوفية ، تميل على خط الاستواء بزاوية $\varepsilon = 23^\circ 27'$ وتقطعه فى نقطتى γ ، γ' .



وفى حركتها السنوية الظاهرية تتحرك الشمس على الدائرة الكسوفية من الغرب إلى الشرق فتصل للمواقع الموضحة فى شكل (١١) تقريباً فى الأزمنة الموضحة فى الجدول التالى .

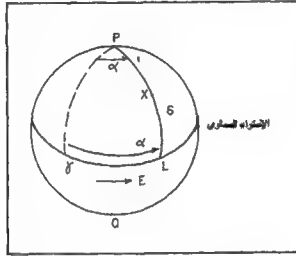
شكل (١١) الدائرة الكسوفية ودائرة الاستواء السماوى

حركة الشمس السنوية الظاهرية

التقطعة	اسمها	التاريخ	ميل الشمس	ملاحظات
γ	الاعتدال الربيعى	٢١ مارس	صفر	بداية فصل الربيع جغرافيا
S_1	الانقلاب الصيفى	٢٢ يونية	ε	بداية فصل الصيف جغرافيا
γ'	الاعتدال الخريفى	٢٢ سبتمبر	صفر	بداية فصل الخريف جغرافيا
S_2	الانقلاب الشتوى	٢٢ ديسمبر	ε	بداية فصل الشتاء جغرافيا

٥ - الإحداثيات الاستوائية # :

حيث إن النجم يتحرك في حركته اليومية موازيًا لخط الاستواء فإن زاوية الميل ثابتة لا تتغير مع المكان أو الزمان ما دام خط الاستواء ثابتًا . أما زاوية الساعة فهي تتغير على مدار اليوم من صفر حتى ٢٤ ساعة . لذا لزم تعريف إحداثي آخر ثابت يمكن استخدامه مع δ في تحديد مواقع الأجرام السماوية دون لبس ، يسمى المطلع المستقيم .



شكل (٧٧) الميـد والمطلع المستقيم

المطلع المستقيم : هو الزاوية بين دائرة الساعة المارة بالنجم وتلك المارة بنقطة γ ، وهي تساوي المسافة من γ إلى L مقاسة من صفر إلى 360° أو من صفر إلى ٢٤ ساعة .

٦ - الإحداثيات الكسوفية :

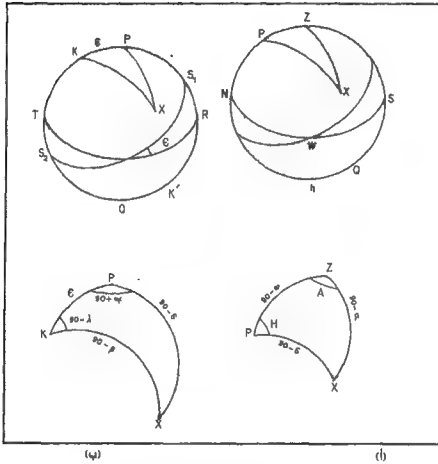
تعرف بنفس طريقة تعريف الإحداثيات الاستوائية مع إبدال الدائرة الكونية الكسوفية كدائرة أساسية بالاستواء السماوي .

العرض السماوي (β) : هو المسافة بين النجم وبين الدائرة كسوفية مقاسة على الدائرة العظمى من قطب الدائرة الكسوفية k إلى النجم (شكل ١١) ومن الواضح أن $\beta_0 = 0$

الطول السماوي (τ) : هو المسافة L_γ على الدائرة الكسوفية مقاسة من γ شرقًا من صفر حتى 360° .

٧ - المثلث الفلكي والعلاقات بين النظم المختلفة :

من المثلث ZPX (شكل ١٣) .



شكل (١٣) المثلث الفلكي

$$\sin a = \sin \phi \sin s + \cos \phi \cos \delta \cos H \quad (12)$$

$$\sin A \cos a = \cos \delta \sin H \quad (13)$$

$$\cos a \cos A = \sin \delta \cos \phi - \cos \delta \sin \phi \cos H \quad (14)$$

يلاحظ في (١٣)، (١٤) أننا اعتبرنا الزاوية السمتية مقاسة من اتجاه الشمال (N) غربًا .

من المثلث kpx (شكل ١٣ ب) .

$$\cos \beta \sin \lambda = \sin \delta \sin \varepsilon + \sin \delta \cos \varepsilon \sin \alpha \quad (15)$$

$$\cos b \cos \lambda = \cos \alpha \cos \delta \quad (16)$$

$$\sin b = \sin \delta \cos \varepsilon - \cos \delta \sin \varepsilon \sin \alpha \quad (17)$$

٨ - تصحيح الأرصاد :

تعانى الأرصاد الفلكية من مؤثرات مختلفة بعضها يسببه تغير فى محاور الإسناد وبعضها نتيجة مؤثرات أخرى ، وهذا يتطلب التصحيح لتلك المؤثرات .

انكسار الضوء : (Refraction)

عندما تخترق أشعة الضوء القادمة من أى جرم سماوى الغلاف الجوى متجهة نحو الأرض تعبر من وسط أخف إلى وسط أعلى فى الكثافة ، لذلك فإنها تنحرف متجهة نحو السمى فيبدو الجرم أعلى فوق الأفق .

فإذا كان البعد السمى ζ الظاهرى والحقيقى Z فإن Z تعطى بالصيغة التقريبية التالية :

$$Z = \zeta + 58.2 \tan \zeta \quad (18)$$

اختلاف المنظر : (Parallax)

ينجم عن الرصد من أماكن مختلفة ويمكن أن يستخدم تغير الاتجاه مع تغير موقع الرصد فى تعيين المسافات واختلاف المنظر الناتج عن الرصد من فوق سطح الأرض بدلاً من الرصد من مركزها بتغير تبعاً للموقع الجغرافى ، وارتفاع الجرم السماوى فوق الأفق ، وتسمى قيمته لرصد عند خط الاستواء عندما يكون الجرم على الأفق «اختلاف المنظر الأفقى الاستوائى» وقيمته للقمر ٥٧ وللشمس ٨,٧٩ . واختلاف المنظر يتسبب فى إزاحة الجرم السماوى بعيداً عن السمى ، أى يقلل من ارتفاعه فوق الأفق .

الزيف الضوئى : (Aberration)

سببه السرعة المحدودة للضوء ، مما يتسبب فى إزاحة الجسم فى اتجاه

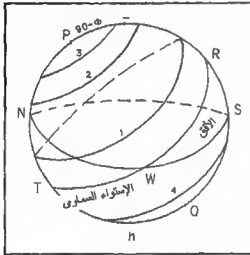
حركة الراصد ، وبذلك ينتج الزيف من حركة الأرض حول الشمس (الزيف السنوي) ودورانها حول محورها (الزيف اليومي) . كذلك يجب التصحيح لحركة الكواكب خلال الفترة التي يستغرقها ضوءها في رحلته إلى الأرض .

المبادرة والترنح : (Precession and nutation)

ينتجان من جذب الشمس والقمر والكواكب للأرض مما يتسبب في عدم ثبات مستوى خط الاستواء ونقطة الاعتدال الربيعي .

٩ - النجوم الخسان (Circumpolar stars)

يوضح شكل (١٤) دوائر الحركة اليومية لأربعة نجوم يلاحظ فيها .



شكل (١٤) النجوم الخسان

النجم رقم 1 : يغرب عند غ
ويشرق عند ش . فهو فوق الأفق من
ش إلى غ ، ثم تحت الأفق بين غ ،
ش .

النجم رقم 2 والنجم رقم 3 :
يظلمان فوق الأفق فلا يغربان .

النجم رقم 4 : يظل تحت الأفق
بصفة دائمة ، وبذلك لا يرى أبداً من
الموقع 2 على سطح الأرض (C هو
موقع الراصد وهو في نفس الوقت
مركز الكرة السماوية لهذا الراصد) .

النجوم 2 ، 3 التي لا تغرب تسمى بالنجوم الخسان ، والنجم القطبي هو
أشهر أمثلتها في نصف الكرة الشمالي .

والحالة الحدية للنجم كي لا يغرب أن يكون عبوره السفلى من نقطة N ،
وفي هذه الحالة يكون $NP = 90 - \delta$

$$(90 - \delta) + (90 - \phi) = 90$$

أى أن

$$\delta = 90^\circ - \phi$$

ومن ثم فإن شرط ألا يغرب النجم هو

$$\delta > 90^\circ - \phi \quad (19)$$

وشرط ألا يشرق النجم هو

$$-\delta > 90^\circ - \phi \quad (20)$$

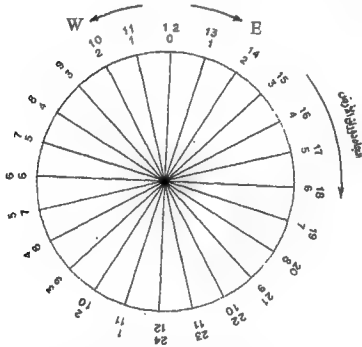
وتمكس إشارات كل من ϕ ، لراصد فى نصف الكرة الجنوبي .

ميل النجم القطبى ٩٠ تقريباً . وبذلك فهو لا يرى فى نصف الكرة الجنوبي ، لكنه لا يغرب أبداً فى نصف الكرة الشمالى ويكون ارتفاعه فى مكان عرضه ϕ . أى أن ارتفاعه هو عرض المكان . لذا فهو عند خط الاستواء لا يبارح الأفق ، بينما يقبع فى نقطة السمى لراصد فى القطب الشمالى ، أما فى القطب الجنوبي فهو لا يريم عن نقطة النظر .

٣-٦ قياس الزمن :

كان قياس الزمن وما زال من أبرز مهام علم الفلك ولاهمية الزمن في حياة الإنسان نوجز أسس النظم المختلفة لقياس الزمن .

١- المناطق الزمنية :



شكل (١٥) خطوط الطول القياسية والمناطق الزمنية

حيث إن الكرة السماوية تدور في حركتها اليومية الظاهرية من الشرق إلى الغرب فإن الشمس وغيرها من الأجرام السماوية تشرق أولاً على خطوط الطول الواقعة تجاه الشرق ثم تتحرك غرباً لتشرق على تلك الواقعة غربها . وبذلك يختلف التوقيت من مكان لآخر على سطح الأرض مع اختلاف طول المكان . لذلك اعتبرت خطوط الطول 0 ، 15 ، 30 ، . . خطوطاً قياسية ، وقسمت الأرض إلى ٢٤ منطقة زمنية سعة كل منها ١٥° (أى ساعة) تمتد ٧,٥ شرق وغرب كل خط طول قياس كما هو موضح في شكل (١٥) وبذلك يزداد التوقيت بالانتقال من منطقة إلى التالية لها شرقاً بمقدار ساعة ، بينما يقل بالاتجاه غرباً . فإذا كان التوقيت في جرينتش ١٢ ظهراً يوم ٣ نوفمبر (مثلاً) يكون توقيت

كل المنطقة الخضراء المحيطة بخط الطول صفراً ١٢ ظهراً . وفى المنطقة التى تليها شرقاً ١٣ ظهراً بينما يكون توقيت المنطقة التالية لها غرباً ١١ قبل الظهر ، وبالإستمرار شرقاً نصل إلى خط الطول ١٢ شرقاً فنجد أن أصبح ٢٤ يوماً ٣ نوفمبر ، بينما لو تحركنا غرباً نصل إلى خط الطول ١٢ غرباً (وهو نفس المخط ١٢ شرقاً) لنجد التوقيت قد أصبح صفراً يوم ٣ نوفمبر ، أى أن فارق التوقيت بين الواقف على خط الطول ١٢ من الشرق وبين الواقف عليه من الغرب يوم كامل . لذلك يسمى هذا الخط خط الزمان الدولى .

من التوقيتات المدرجة نجد أن :

توقيت جرينتش = التوقيت المحلى + طول المكان

مع مراعاة أن الطول يقاس موجب غرباً وسالب شرقاً .

٢ - الزمن النجمى :

يقاس بواسطة التحركات اليومية للنجوم . ويقدر بزاوية الساعة لנקطة الاعتدال الربيعى . والفترة بين عبورين متتاليين لنقطة γ لخط الزوال تسمى « اليوم النجمى » وهو يبدأ لحظة العبور العلوى عندما تكون زاوية الساعة لنقطة γ مساوية للصفر ، وطول اليوم النجمى ٢٤ ساعة نجمية .

٣ - الزمن الشمسى المتوسط والزمن العالمى :

لا يمكن ضبط أمور الحياة اليومية باستخدام الزمن النجمى ، فأمور الحياة ترتبط بالشمس حين تشرق أو تغيب . إلا أن الشمس التى تُرى لا يمكن أن تكون حركتها اليومية مقياساً لزمن يتغير بانتظام ، ذلك أنها تتحرك على الدائرة الكسوفية، بينما الحركة اليومية ترتبط بخط الاستواء ، وهى تتحرك فى قطع ناقص تزداد فيه السرعة وتبطئ . لذا اتفق الفلكيون على أن تستخدم شمس أخرى (تخيلية) تسمى الشمس المتوسطة فى دائرة وتتحرك على خط الاستواء ، وبذلك تكون حركتها منتظمة ، لكنها تكمل دورة فى حركتها تلك المنتظمة فى نفس الفترة التى تكمل فيها شمسنا الحقيقية دورة فى مدارها المائل الأهليلجى .

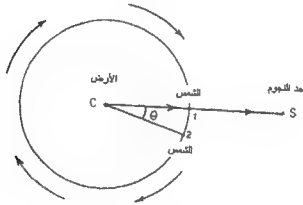
ويبدأ اليوم الشمسى المتوسط عندما تعبر الشمس المتوسطة دائرة الزوال

عبراً سفلية . أى أن طوله هو الفترة بين عبورين سفلين متتاليين . وحيث إن زاوية الساعة للشمس فى تلك اللحظة ١٢ ساعة ويرتبط الزمن الشمسى المتوسط بزاوية الساعة للشمس المتوسطة بالعلاقة

$$M . S . T = H . A . M . S + 12^h \quad (21)$$

والزمن العالمى هو الزمن الشمسى المتوسط فى مدينة جرينتش .

ونتيجة للحركة الظاهرة للشمس حول الأرض يزيد طول اليوم الشمسى قليلاً عن طول اليوم النجمى . ويتضح هذا من الشكل (١٦) .



شكل (١٦) اليوم النجمى واليوم الشمسى

نفترض أن النجم S والشمس عبرا خط زوال الراصد فى لحظة واحدة . بعد أن تدور الأرض حول محورها دورة كاملة يقع S على خط الزوال مرة أخرى . وبذلك يكون قد مضى يوم نجمى كامل ، إلا أن الشمس تكون قد تحركت من الوضع 1 إلى الوضع 2 بزاوية مقدارها θ ، وبذلك لى يكمل يوم شمسى يجب أن تدور الأرض $360^\circ + \theta$. ومقدار الزاوية θ أقل قليلاً من الدرجة وبذلك يكون طول اليوم النجمى حوالى $23^h 56^m$ شمسية .

٤ - نظم التوقيت الفلكية (التي تستخدم فى الأغراض الفلكية)

أساس نظم التوقيت الفلكية هو توقيت جرينتش الشمسى المتوسط والمسمى بالتوقيت العالمى UT .

يسمى التوقيت العالمى الناتج مباشرة من الأرصاد UTO .

وبتصحیح هذا الزمن لتغيرات الطول نتيجة للمبادرة والترنح وحركة قطب الأرض نحصل على زمن أكثر انتظاماً نسميه UTI . إلا أن هذا الزمن يعانى من تغيرات دورية صغيرة بدورتين على الأقل (سنة وستة أشهر) لذلك تم تصحيحه لنحصل على UT ٢ الذى لا يزيد الخطأ النسبى فيه عن ١٠^{-٧} . لكن هذا أيضاً كان يعانى من إبطاء دوران الأرض بسبب المد والجزر ، ولذلك عدل الفلكيون تماماً عن استخدام اليوم كوحدة للزمن .

فى البداية سنة ١٩٦٠ م استخدم « الزمن الزيجى Ephemeris Time » والذي يعتمد على حركة الأرض حول الشمس ، وفى الثمانينيات بدأ استخدام مفاهيم النسبية العامة فى أن لكل راصد زمناً خاصاً به فى تعريف الزمن . فأدخل الزمن الديناميكى للأرض (TDT) بعد حذف تأثير دورانها حول محورها ثم أدخل زمن حركة كتلة المجموعة الشمسية (TDB) . بعد ذلك استخدم الزمن الذرى لضبط الفترات الزمنية حيث تُعرف الثانية على أنها تعادل ٩,١٩٢,٦٣١ مرة قدر دورة الضوء المنبعث من نظير عنصر « سيزيوم ١٣٣ » فى المستوى الأرضى . وتصل دقة هذا الزمن الذرى لحوالى ١٥^{-١٢} . وباستخدام متوسطات لساعات ذرية مختلفة أمكن الوصول لدقة تصل إلى ٤×١٠^{-١٣} .

ولضبط الزمن العالمى المبني على دوران الأرض حول محورها ابتكر سنة ١٩٧٢ ما يسمى « الزمن العالمى المتسق » (Coordinated U.T.) . وهى أساس إشارات الزمن والذي تتبعه ساعاتنا إن كانت بالدقة الكافية . ويتضمن UTC ما يسمى بالثانية الكيسية للتصحيح لعدم انتظام دوران الأرض حول محورها فلا يزيد الفارق بين UT ١ و UT ٢ عن ٩ ثانية فإن زاد تضاف الثانية الكيسية (أو تطرح) وذلك فى آخر يونيو أو آخر ديسمبر . وقد أدى ببطء الأرض فى دورانها إلى إضافة ثانية كيسية كل سنة منذ سنة ١٩٧٢ .

٥ - السنون :

يوجد للسنين خمسة تعريفات، ثلاث منها قريبة من الملاحظة ، أما الباقيان فلاغراض فلكية خاصة .

(١) السنة المدارية : Tropical year

هى دورة الأرض حول الشمس ما بين مرورين متتاليين بنقطة الاعتدال الربيعي . السنة المدارية = ٣٦٥, ٢٤٢٢ يوما .

(٢) السنة النجمية : Sidereal year

هى الدورة حول الشمس بالنسبة للنجوم .
السنة النجمية = ٣٦٥, ٢٥٦٤ يوما .

(٣) السنة الشاذة (أو الحضيضية) : Anomalistic year

هى الفترة بين عبورين متتاليين على نقطة الحضيض (أقرب نقطة فى مدار الأرض للشمس) .

السنة الحضيضية = ٣٦٥, ٢٥٩٦ يوما .

(٤) السنة الكسوفية : Ecliptic year

يقطع مدار القمر حول الأرض الدائرة الكسوفية فى نقطتين تسميان العقدة الصاعدة والعقدة الهابطة (أو نقطة الرأس ونقطة الذنب) ونظراً للإقلاعات التى تحدثها الشمس والكواكب الأخرى على حركة القمر فإن خط العقدين يدور فى دائرة البرج مكتملاً دورة كاملة كل ١٨, ٦ سنة .

والفترة الزمنية بين عبورين متتاليين للشمس (فى حركتها الظاهرية حول الأرض) على العقدة الصاعدة (أو النائلة) يسمى السنة الكسوفية .

السنة الكسوفية = ٣٤٦, ٦٢٠١ يوما .

(٥) السنة البيسيلية : Besselian year

هى سنة مدارية تبدأ عندما يكون المطلع المستقيم للشمس المتوسط ١٨ ساعة و ٤٠ دقيقة (أو ٢٨٠) .

وهى تستخدم فى تسجيل مواقع النجوم ويرمز لها بإضافة 0 . بعد السنة مثل 0 . 1950 أو 02000 وقد كانت الجداول الفلكية حتى قبل سنة ١٩٨٤ تسند إلى سنة 0 . 1950 ثم أصبحت تسند إلى سنة 0 . 2000 .

٦ - التاريخ الجولياني : Julian Date

التاريخ الجولياني شائع الاستعمال فى الحسابات الفلكية المختلفة حيث لا تستخدم فيه الشهور أو السنون . وهو يبدأ بالعدد اليومى صفر لأول يناير سنة ٤٧١٣ قبل الميلاد ويحصى الأيام تبعاً من هذا التاريخ ويرمز لها بالعدد اليومى الجولياني . واليوم فيه يقاس من الظهر الأوسط إلى الظهر الأوسط التالى .

وعلى سبيل المثال :

$$UT, 12 \text{ Jan. } 1, 1900 = 2.415.020 \text{ JD}$$

وللحد من كبر هذه الأرقام يستخدم أحياناً التاريخ الجولياني المعدل MJD

وتعريفه :

$$MJD = JD - 2400000.5$$

وهو بذلك يقاس من الساعة صفر يوم ١٧ نوفمبر سنة ١٨٥٨ بالتوقيت

العالمى .

٣ - ٧ التقاويم :

كما رأينا فى أطوال السنين ، لا تحتوى السنة على عدد صحيح من الأيام ، وكذلك دورة القمر حول الأرض ، وقد دعا هذا لعمل تقاويم يتم فيها تعريف سنين مدنية تنظم أطوالها بحيث يكون طول كل منها عدداً صحيحاً من الأيام . وقد كان لكل الحضارات والشعوب القديمة (تقريباً) تقاويم خاصة بها تقوم إما على حركة الشمس (الظاهرية) أو على حركة القمر .

وسوف نستعرض هنا باختصار التقويم الميلادى والتقويم الهجرى .

١ - التقويم الميلادى :

يعتمد التقويم الميلادى على السنة المدارية . وقد اعتبر يوليوس قيصر أن الطول التقريبى للسنة ٣٦٥,٢٥ يوماً . ولتعويض الكسر كبس السنة مرة واحدة كل ٤ سنوات ، فتكون السنة كبيسة وطولها ٣٦٦ يوماً إذا كانت تقبل القسمة على ٤ ، وبذلك جعل شهر فبراير ٢٩ يوماً فى السنة الكبيسة و ٢٨ يوماً فى السنة العادية .



وبسبب الفارق عن الطول الحقيقي للسنة فقد أدخل البابا جريجورى فى سنة ١٥٨٢ تصحيحاً على التقويم الجولياني ليصبح طول السنة ٣٦٥,٢٤٢٢ ، وذلك بإسقاط السنين القرنية (أى التى تنتهى بصفرين) من الكيس إلا إذا كانت تقبل القسمة على ٤٠٠ وبذلك يكون .

$$٤٠٠ \text{ سنة جريجورية} = ٩٧ + ٣٦٥ \times ٤٠٠ \text{ يوماً}$$

$$\text{فتكون ١ سنة جريجورية} = ٣٦٥,٢٤٢٥ \text{ يوماً}$$

وبذلك لا تختلف عن الطول الحقيقي بأكثر من ٣ أيام كل ١٠,٠٠٠ سنة .

٢ - التقويم الهجرى :

أساس هذا التقويم هو الشهر القمري الاقتراني وطوله ٢٩ يوماً و ١٢ ساعة و ٤٤ دقيقة و ٢,٨ ثانية أى ٢٩,٥٣٠٥٨٩ يوماً . ويبدأ الشهر العربى مع ميلاد الهلال الذى حدث عند اقتران الشمس والقمر (أى وقوع الأرض والقمر والشمس على خط واحد تقريباً وبالترتيب المذكور) وهى ظاهرة منسوبة لمركز الأرض ، وبذلك تختلف لحظة الميلاد باختلاف التوقيت وكذلك مواقيت رؤية الهلال الوليد ومدة مكثه فوق الأفق بعد غروب الشمس .

وإذا تذكرنا أن أول محرم من السنة الهجرية الأولى يوافق الخميس ١٥ يوليو سنة ٦٢٢ ميلادية بالتقويم الجولياني و ١٨ يوليو سنة ٦٢٢ بالتقويم الجريجورى ، يمكن إعداد تقويم هجرى بحيث تكون الشهور القمرية ، متفقة إلى أقصى حدود التقريب مع الفترة الزمنية الميلادية بين ميلادين متاليين للهلال .

وإذا اعتبرنا طول الشهر القمري ٢٩ يوماً و ١٢ ساعة ، ٤٤ دقيقة وأغفلنا الثواني وقدرها ٢,٨ ثانية حيث إنها لا تتعدى يوماً واحداً خلال ٢٤٠٠ سنة ، فإن السنة الهجرية المتوسطة = $\frac{١١}{٣} \times ٢٥٤$ يوماً . وهذا يوحى بدورة ثلاثينية منها ١١ سنة كبيسة ، ١٩ سنة عادية .

وتكون السنون كبيسة أو عادية تبعاً لقيمة ع فى المعادلة الآتية :

$$ع = \text{باقى القسمة} \left(\frac{١١ \text{ س} + ١٤}{٣} \right) [> ١١ \text{ كبيسة} , < ١١ \text{ عادية}] . \text{ حيث س رقم السنة الهجرية فى الدورة .}$$

مثلاً إذا كانت $س = ٢$ فتكون $ع = ٦$ وهى سنة كبيسة .

وإذا كانت $س = ١٢$ فتكون $ع = ١٦$ وهى سنة عادية .

وهذا التقويم متفق فيه على أن تكون السنة العادية ٣٥٤ والسنة الكبيسة ٣٥٥ ويكون الكبس فى نهاية شهر ذى القعدة . وتوضح المعادلة السابقة أن السنين الكبيسة فى كل دورة هى التى أرقامها :

٢ ، ٥ ، ٧ ، ١٠ ، ١٣ ، ١٦ ، ١٨ ، ٢١ ، ٢٤ ، ٢٦ ، ٢٩ .

ويمكن دون صعوبة طبقاً لهذا النظام إيجاد اليوم من الأسبوع المناظر لـ تاريخ هجرى .

تعقيب : التقويم الهجرى المذكور مجرد اجتهاد ولضبط السنة الهجرية مع السنة الميلادية ، إلا أنه لا يصح الأخذ به للأسباب التالية :

أ - توزيع أطوال الشهور الهجرية ما بين ٢٩ أو ٣٠ يوماً لا يمكن أن يوضع مقدماً فهو يتعلق بأمور العقيدة ويجب تتبع حركة القمر الحقيقية بصورة دقيقة .

ب - حركة القمر لا يمكن ضبطها لفترات رمنية طويلة .

ج - الحديث الشريف « صوموا لرؤيته وأفطروا لرؤيته » وكذلك الآية الكريمة ﴿ فَمَنْ شَهِدَ مِنْكُمُ الشَّهْرَ فَلْيَصُمْهُ ﴾ (البقرة : ١٨٥) لا يدعان مجالاً للتوصل من الرؤية .

د - الحساب الفلكى الدقيق يتيح وسيلة مضمونة للاسترشاد وليس إلا .

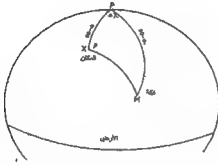
هـ - طبقاً للأراء الفقهية ومنها ما صدر عن مجمع البحوث الإسلامية بالأزهر الشريف سنة ١٩٦٥ فإنه ثبوت رؤية الهلال فى بلد إسلامى تعنى بدء الشهر فى كل البلاد التى تشاركه فى جزء من الليل وفى هذا تيسير كبير يغنى عن الشطط الذى قد يسببه أى تقويم هجرى يحدد مقدماً أطوالاً للسنين وأطوالاً للشهور .

٣-٨ حساب اتجاه القبلة :

تحديد اتجاه القبلة لـ أى مكان من الأمور اليسيرة سواء فى الحساب أو فى

التعريف ، هي فقط تتطلب فهماً صحيحاً لقيم الزوايا الناتجة من الحساب .
وسنذكر طريقة الحساب بالتفصيل تبعاً لموقع المكان بالنسبة لمكة المكرمة .

تعريف اتجاه القبلة : اتجاه القبلة هو الزاوية المحصورة بين اتجاه الشمال
واتجاه مكة المكرمة بالنسبة للمكان المطلوب تحديد القبلة فيه ، ويكون ذلك
بمراعاة كروية الأرض وإلا
كانت النتيجة خاطئة .



شكل (١٧) تعريف اتجاه القبلة

وتبعاً لهذا التعريف
نرسم مستويًا مارًا بمركز
الأرض وبالقطب الشمالي
فيقطع سطح الأرض في الدائرة
العظمى XP ، ثم نرسم
المستوى المار بمركز الأرض
والمكان ومكة المكرمة فيقطع
سطح الأرض في الدائرة
العظمى XM .

بذلك تكون الزاوية β المقاسة من اتجاه الشمال تجاه مكة هي الزاوية
المطلوبة .

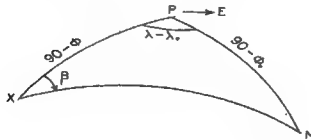
تفاصيل الحساب :

(١) X يقع شمال غرب مكة :

$$M(\lambda, \phi) = (-40^\circ, 21^\circ \text{ N}) \quad \text{نفرض أن مكة}$$

والمكان X (λ, ϕ)

الزاوية β مقاسة من الشمال تجاه الشرق من صفر حتى 180° .

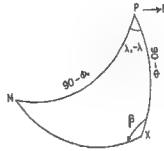


من المثلث PXM

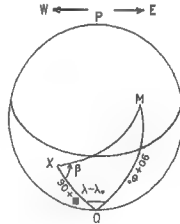
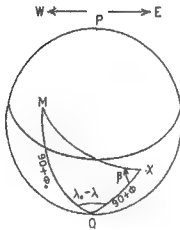
$$\sin \phi \cos (\lambda - \lambda_s) = \cos \phi \tan \phi_s - \sin (\lambda - \lambda_s) \cot \beta$$

$$\tan \beta = \frac{\sin (\lambda - \lambda_s)}{\cos \phi \tan \phi_s - \sin \phi \cos (\lambda - \lambda_s)} \quad (22)$$

(٢) X شمال شرق مكة: (β) مقاسة من الشمال تجاه الغرب من صفر حتى (١٨٠).



$$\tan \beta = \frac{\sin (\lambda_s - \lambda)}{\cos \phi \tan \phi_s - \sin \phi \cos (\lambda_s - \lambda)} \quad (23)$$



شكل رقم (١٨) الاتجاهات لبقعة في نصف الكرة الجنوبي

(٣) X جنوب غرب M : (β) من الجنوب تجاه الشرق

$$\tan \beta = \frac{\sin (\lambda - \lambda_s)}{-\cos \phi \tan \phi_s + \sin \phi \cos (\lambda - \lambda_s)} \quad (24)$$

(٤) X جنوب شرق M : (β من الجنوب تجاه الغرب)

$$-\sin \phi \cos (\lambda_s - \lambda) = -\cos \phi \tan \phi_s - \sin (\lambda_s - \lambda) \cot \beta$$

$$\tan B = \frac{\sin (\lambda_s - \lambda)}{-\cos \phi \tan \phi_s + \sin \phi \cos (\lambda_s - \lambda)} \quad (25)$$

ملاحظات : ١ - يمكن اشتقاق المعادلات (22) من (23) ، (25) من (24) بكتابة ($\lambda_s - \lambda$) بدلاً من ($\lambda - \lambda_s$) بسبب تبادل المواقع شرقاً وغرباً بين M و X .

ب - يمكن اشتقاق كل من (24) ، (25) على الترتيب من (22) ، (23) بتغيير إشارات كل من ϕ و ϕ_s .

ج - إذا أردنا اشتقاق نظائر للمعادلات (24) ، (25) منسوبة للقطب الشمالي يكفي وضع - ϕ بدلاً من ϕ في كل من (22) ، (23) على الترتيب .



الفصل الرابع

الإشعاع والطيف

Radiation and Spectra

- ١-٤ أنواع الموجات الكهرومغناطيسية .
- ٢-٤ الطيف والفلك .
- ٣-٤ تعريفات أساسية .
- ٤-٤ القدر الظاهري والقدر المطلق .
- ٥-٤ تأثير الغلاف الهوائي ووسط بين النجوم .
- ٦-٤ الإشعاع وانبعاثه .
- ٧-٤ الطيف الذري والطيف الجزيئي .
- ٨-٤ الطيف المستمر .
- ٩-٤ إشعاع الجسم الأسود .
- ١٠-٤ أطياف النجوم .
- ١١-٤ شكل هرتزسبرونج ورسل .
- ١٢-٤ أجواء النجوم .
- ١٣-٤ قياس الحرارة .
- ١٤-٤ ماذا عن نتائج الأرصاد ؟

وسيلة الفلكي لدراسة الأجرام السماوية هي ما تبعث به تلك الأجرام من رسائل تتمثل في الموجات الكهرومغناطيسية بمختلف أطوالها . وأكثر ما نتوقع استقباله من تلك الموجات خلال حياتنا يملأ الفضاء حاليًا في رحلته إلينا من كافة الاتجاهات ، وقد تكون بعض تلك الموجات قد غادرت الجرم الذي بعث بها منذ آلاف أو حتى ملايين السنين . والضوء العادي هو أكثر صور تلك الموجات مصاحبة لنا وإن كانت تتكون من أنواع مختلفة هي أشعة جاما ، وأشعة إكس ، والأشعة فوق البنفسجية ، والضوء العادي ، والأشعة الحرارية أو تحت الحمراء ، وموجات الراديو ، ولا تحتاج تلك الموجات لوسط مادي تنتقل فيه وإن كنا لا ندرك كنهها إلا بتفاعلها مع الأجسام المادية المختلفة .

وتتميز الموجات المغناطيسية عن بعضها باختلاف أطوالها الموجية (كما نراها في موجات الراديو والتلفزيون) وهي تمتص بواسطة المادة أو تنبث منها في صورة طاقات تمثل أعدادًا صحيحة من وحدات طاقة تسمى « فوتونات » . والطاقة التي يحملها كل من هذه الفوتونات تختلف مع الطول الموجي للإشعاع المنبعث أو الممتص تبعًا للعلاقة .

$$E = h c / \lambda$$

حيث $c = 3 \times 10^{10}$ سم / ث هي سرعة الضوء ، λ طول الموجة بينما $h = 6.626 \times 10^{-27}$ إرج / ث هو ثابت بلانك .

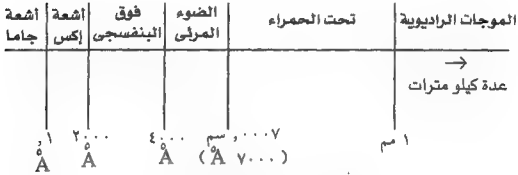
والفوتونات تسير في الفراغ بسرعة الضوء في خطوط مستقيمة ما لم تقع تحت تأثير مادي يحدد عن مساراتها تلك .

٤ - ١ أنواع الموجات الكهرومغناطيسية :

١ - الموجات الراديوية : هي أطول تلك الموجات حيث تصل أطوالها لعدة كيلو مترات . وعندما تمر تلك الموجات بموصل (مثل الهوائي) تحدث تيارًا ضعيفًا يمكن تكبيره وتسجيله باستخدام أجهزة مناسبة .

٢ - الموجات الحرارية : تتراوح أطوالها الموجية بين ٠.٠٠٧ مم إلى ١ مم ، ويمكن تصوير ما تقل أطواله عن ٠.٠١٥ مم بالواح فوتوغرافية خاصة ، أما تلك الأطوال من ذلك فتسجل باستخدام أجهزة خاصة .

٣ - الضوء المرئى : يشغل الأطوال الموجية ٤٠٠٠ - ٨٧٠٠٠ (٨١ = 10^8 سم) ويحدد طول الموجة لون الضوء المرئى حيث يمثل أقصرها (٤٠٠٠ - ٥٥٠٠) اللون البنفسجى ، بينما يمثل أطولها اللون الأحمر .



شكل (١) الطيف الكهرومغناطيسى

٤ - الأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس :

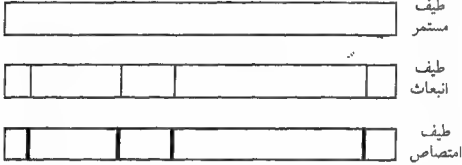
الأشعة الواقعة فى المنطقة الأقصر من الطيف المرئى تسمى الأشعة فوق البنفسجية ، أما تلك التى تقل أطوالها عن ٨٢٠٠ فتمثل أشعة إكس ، ويمكن الكشف عن كليهما إما بالتصوير الفوتوغرافى أو بالفوتومترات الكهروضوئية .

٥ - أشعة جاما (أقصر من ١ Å) : تنبعث عادة خلال التفاعلات النووية أو من المواد المشعة . وهى تتولد فى أعماق داخل النجوم ثم تتحول تدريجياً إلى موجات من الضوء المرئى بالامتصاص والانبعث المتكرر بواسطة الغازات المكونة للنجم .

ويعرف مجموع الموجات المكونة للإشعاعات الكهرومغناطيسية بالطيف الكهرومغناطيسى ويستفاد من هذه الموجات باستقبال المنطقة الطيفية المطلوبة منها بواسطة المنظار المناسب الذى يقوم بتجميعها عند بؤرتة . هذه الأشعة المتجمعة يمكن تسجيلها بالوسيلة المناسبة لطبيعتها ولنوع الدراسة المطلوب إجراؤها .

٤-٢ الطيف والفلك :

تتبنى الدراسات الفلكية الطيفية على قوانين كيرشوف الثلاثة وعلى ما يسمى بتأثير دوبلر .



شكل (٢) أنواع الطيف

١- قوانين كيرشوف :

(أ) يبعث الجسم الصلب أو السائل المتوهج بضوء يشتمل على كل الأطوال الموجية ، وبذلك يكون طيفاً مستمراً .

(ب) يبعث الغاز المخلخل المتوهج بضوء يتكون طيفه من خطوط مضيئة ، يتخللها في بعض الأحيان طيف مستمر .

(ج) إذا مر الضوء الأبيض من مصدر متوهج خلال أحد الغازات فإن الغاز قد يجرد الضوء من بعض الأطوال الموجية فتبدو صورة خطوطه معتمة .

وترجع أهمية قوانين كيرشوف إلى أن لكل غاز خطوطه المميزة التي تنبعث منه إذا استثيرت ذراته ثم عادت لحالتها الطبيعية ، أو يمتصها إذا مر خلاله طيف مستمر ، وبذلك يمكن الكشف عن وجود أى غاز إذا اكتشفت خطوط الطيف المميزة له ، وأشهرها خطوط فرنهوفر التي اكتشفت في طيف الشمس .

والدراسة المستفيضة لتكوين الطيف القادم من أحد الأجرام تمكن من معرفة درجات الحرارة والضغط وغيرها من الظروف الفيزيائية السائدة في المنطقة التي انبعث الطيف منها أو مر من خلالها ، وذلك باستخدام قوانين الإشعاع المختلفة من قانون ستيفان بولتزمان بأن الطاقة E المنبعثة عند درجة حرارة T تعطى بالعلاقة :

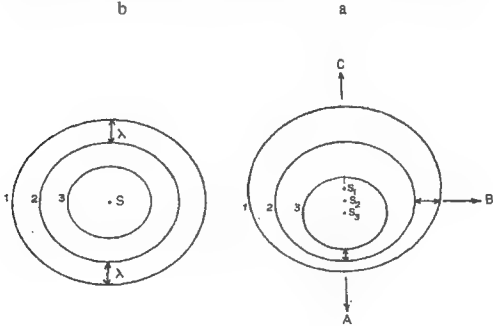
$$E(T) = \sigma T^4 \text{ erg / cm}^2 / \text{sec}$$

حيث T مقاسة بدرجات الحرارة المطلقة ، $\sigma = 5,672 \times 10^{-8}$ هي ثابت ستيفان-بولتزمان .

٢- تأثير دوبلر:

يمكن بدراسة هذا التأثير تعيين سرعة تباعد أو تقارب الأجرام السماوية . فإذا كان مصدر الضوء يتحرك مقترباً من الراصد تقترب الموجات الصادرة عنه من بعضها ، أما إذا كان يبتعد فإن الموجات تتباعد عن بعضها ، وينتج عن ذلك أن خطوط الطيف تنزاح تجاه الموجات الأقصر في حالة اقتراب مصدرها بينما يزداد طولها في حالة ابتعاد هذا المصدر .

ويمكن تصور هذا التأثير بسهولة من شكل (٣) . ففي الرسم (a) انبعثت الموجات 1 ، 2 ، 3 والمصدر ثابت في نفس موضعه S لذلك تصل إلى الراصد بفواصل في المسافة قدره λ بين كل منها (حيث الطول λ الموجي للضوء الصادر من S) . أما في (b) فإن المصدر بعث بالموجة 1 وهو في الوضع S_1 ، ثم بعث



شكل (٣) تأثير دوبلر

بالموجة 2 وهو فى الوضع S و 3 وهو فى الوضع S نتج عن هذا كما هو موضح فى الشكل أن الموجات تتقارب بالنسبة للراصد A الذى يقترب منه المصدر ، بينما تتباعد بالنسبة للراصد C الذى يبتعد عنه المصدر ، أما الراصد B الذى يتعامد اتجاهه مع اتجاه الحركة فلا تتأثر الموجات الواصلة إليه . وتسمى الإزاحة بالنسبة للراصد C إزاحة حمراء (Redshift) بينما هى للراصد A إزاحة زرقاء .

إذا كانت الحركة على امتداد خط الرؤية الواصل من الراصد إلى المصدر بسرعة v ، وكانت الموجات تنبعث من المصدر بطول λ ، فإن التغير فى أطوال هذه الموجات يعطى بالعلاقة :

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\sqrt{1+v/c}}{\sqrt{1-v/c}} - 1 \quad (1) \quad \text{فإذا كانت } v \gg 1 \text{ تصبح المعادلة (1)}$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \quad (2)$$

وتكون $\Delta \lambda$ موجبة فى حالة التبعاد وسالبة فى حالة الاقتراب

ويصعب الكشف عن التغير فى الطيف المستمر حيث يستلزم ذلك ألا تقل السرعة عن عشرات الآلاف من الكيلومترات فى الثانية الواحدة ، ولكنه يقاس بدقة ويسر فى الطيف الخطى .

٤-٣ تعريفات أساسية :

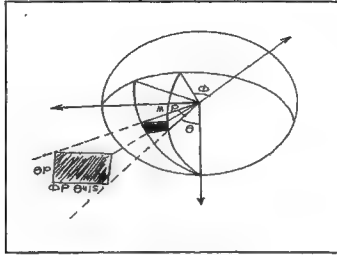
١- الزاوية المجسمة : (Solid angle)

هى المساحة على سطح كرة ، نصف قطرها الوحدة عند مركزها ، أو هى المسافة مقسومة على مربع نصف قطر الكرة إن اختلف عن الواحد الصحيح . من شكل (٤) يتضح أن الزاوية المجسمة dw ترتبط بالزاوية Θ ، ϕ بالعلاقة :

$$dw = \sin \Theta \, d\Theta \, d\phi \quad (3)$$

كذلك من الواضح أن مساحة الكرة تكافئ زاوية مجسمة مقدارها 4π زاوية نصف قطرية مربعة ، ولحساب المساحة بالدرجة المربعة نلاحظ أن مساحة الدائرة :

$$A = 4\pi R^2$$



شكل (٤) الزاوية المجسمة

ولكن طول محيط دائرة عظمى $S = 2\pi R = 360^\circ$ أى أن
 $R = \frac{360}{2\pi}$ و $A = \frac{(360)^2}{\pi} = 41253$ درجة مربعة
 ويكون عدد الدرجات المربعة فى الزاوية النصف قطرية المربعة :
 $Sq. rad. = \frac{129600}{4\pi^2} = 3282.8$ درجة مربعة

٢ - الشدة النوعية (Specific intensity)

إذا كانت dE_v كمية الطاقة التى تعبر سطحاً مساحته dA خلال الزاوية المجسمة $d\omega$ وكانت Θ هى الزاوية بين محور الإشعاع والعمودى على السطح فإن dE_v تعطى بالعلاقة :

$$dE_v = I_v \cos \Theta dA d\omega dt \quad (4)$$

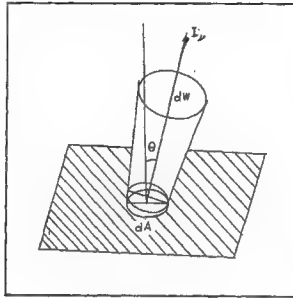
فى المعادلة (4) يسمى المعامل I_v « الشدة النوعية » للإشعاع وهى تتغير بصفة عامة مع الاتجاه والموضع أى أن :

$$I = I_v(x, y, z, l, m, n, t).$$

وهنا تنشأ حالات خاصة هامة إذا كان مجال الإشعاع :

$$I_v = I_v(x, y, z, t) \quad (\text{isotropic})$$

$$I_v = I_v(t) \quad (\text{Homogeneous and isotropic})$$



شكل (٥) الشقة النوعية

- متساويًا على طبقات متوازية (Plane parallel) $I_v = I_v(z, \Theta, f, t)$

- متماثلاً حول محور (Axially symmetric) $I_v = I_v(z, \Theta, t)$

- متماثلاً كرويًا (Spherical symmetric) $I_v = I_v(r, \Theta, t)$

٣- **فيض الإشعاع** : F_v (Flux)

هو كمية الطاقة لكل وحدة مسافة في وحدة الحيز الترددي وفي وحدة الزمن.

$$F_v = \int I_v \cos \Theta \, dw \quad (5)$$

وإذا كان مجال الإشعاع متماثلاً

$$F_v = \int I_v \cos \Theta \, dw = 0$$

وسبب هذا أن الإشعاع الساقط على السطح مساو لذلك الخارج منه .

٤- **كثافة الإشعاع** : (Density of rad)

كثافة الإشعاع عند نقطة هي كمية الإشعاع الذي يعبر وحدة الحجم في الجوار المباشر لتلك النقطة في الحيز الترددي المحدد .



$$u_v = \frac{1}{c} \int I_v dw \quad (6)$$

$$= \frac{4\pi}{c} I_v$$

إذا كان المجال متماثلاً

٥ - الضياء (L) ، (Luminosity)

معدل انبعاث الإشعاع الكهرومغناطيسى من الجرم السماوى ، أى أنه الفيض الإجمالى الذى يعبر سطحاً مغلقاً يحيط به .

ولو كان إشعاع المصدر متماثلاً وقدره F على بعد r من المصدر يكون :

$$L = 4\pi r^2 F \quad (7)$$

٦ - اللمعان ، (Brightness)

هو فيض الإشعاع الصادر من وحدة المساحات فى وحدة الزاوية المجسمة .

٤ - القدر الظاهري والقدر المطلق :

فى القرن الثانى قبل الميلاد صنف الفلكى الإغريقى الشهير « هياركس » النجوم تبعاً لدرجات لمعانها إلى ٦ درجات سميت بالأقذار (magnitude) أو درجات اللمعان (brightness class) فأعطى ألمعها القدر "١" بينما أعطى أخفت ما يمكن رؤيته منها بالعين المجردة القدر "٦" . وفى القرن التاسع عشر عندما بدأ تعيين الأقذار تبعاً لقياسات ضوئية دقيقة وجد أن النجم من القدر "١" يبعث بطاقة مقدارها ١٠٠ مرة مثل تلك التى يبعث بها النجم من القدر السادس . فإذا رمزنا للفيض بالرمز F وللقدر بالرمز m ، فإن الفرق فى m بمقدار ٥ أى (٦-١) يناظر تغيراً فى الفيض بنسبة ١ : ١٠٠ ، لذلك اتفق على أن يكون الفرق بمقدار قدر واحد يناظر النسبة :

$$1 : \sqrt[5]{100} = 2.512$$

فى فيض الضوء الآتى من النجم مع ملاحظة أن القيمة الأكبر فى اللمعان تناظر القدر الأصغر أى أن :

نسبة المعان	الفرق في القدر
١ : ٢,٥١٢	١
١ : ٦,٣١ = ١ : ٢ (٢,٥١٢)	٢
١ : ١٥,٨٥ = ١ : ٣ (٢,٥١٢)	٣
١ : ٣٩,٨٢ = ١ : ٤ (٢,٥١٢)	٤
١ : ١٠٠ = ١ : ٥ (٢,٥١٢)	٥

ويمكن التعبير عن علاقة القدر بالفيض (أو الضياء) بالعلاقة البسيطة التالية:

$$m - m_2 = 2.5 \log \frac{F_1}{F_2} \quad (8)$$

$$\frac{F_1}{F_2} = 10^{0.4(m_1 - m_2)} \quad \text{أو}$$

$$= (2.512)^{m_1 - m_2} \quad (9)$$

توجد أجرام كثيرة مثل الشعرى اليمانية والزهرة والشمس والقمر المجمع كثيراً من النجوم من القدر الأول ، لذلك استحدثت أقدار سالبة أو قيمتها صفر للأجرام الأكثر لمعاناً ، ولأن قدر النجم كما يتضح من (8) ، (9) يعرف بدلالة النسبة بين ضيائه وضياء نجم آخر ، فقد اختيرت مجموعة من النجوم فى مناطق السماء المختلفة لتكون مرجعاً لقياس غيرها من النجوم فى نفس المنطقة يسمى القدر الذى يقاس مباشرة « القدر الظاهرى » وذلك لأننا لم نأخذ بعد النجم فى الاعتبار ، فقد يكون أحد النجوم الخافتة المجمع كثيراً فى الواقع من نجم شديد للمعان لكنه بدا خافتاً لشدة بعده عنا .

ويلاحظ أن تعريف القدر كلما قلت قيمته كان النجم أكثر لمعاناً كما يتضح من الجدول (١) .

القدر المطلق:

لكى تكون مقارنتنا بين لمعان النجوم صحيحة لا بد أن نضعها على نفس البعد قبل أن نجري المقارنة . وقد اتفق على أن يكون هذا البعد ١٠ بارسك (البارسك Parsec) هو بعد النجم الذى يحصر عنده نصف قطر مدار الأرض حول الشمس زاوية مقدارها ١° وهى تساوى (٣,٢٦ سنة ضوئية) ويسمى قدر

القدر المطلق	القدر الظاهري	الجرم
٤,٨	٢٦,٥ -	الشمس
٣١,٨	١٢,٥ -	القمر
١,٤	١,٥ -	الشعري اليمانية
٢٨,٢	٤ -	الزهرة (في أقصى لمعانها)
٢,٢ (Altair)	,٧٧	النسر الطائر (في كوكبة العقاب)
—	٦,٥	حد العين البشرية
٥,٥ (Vega)	,٠٤	النسر الواقع (في القيثارة)

جدول (١)

النجم على هذا البعد « بالقدر المطلق » فإذا كان القدر الظاهري m وقدره المطلق M وبعدة d فإن :

$$\frac{F_{10}^{\circ}}{F_1} = \frac{d^2}{100}$$

وبالتعويض في (8)

$$\therefore m = M + 5 \log d - 5 \quad (10)$$

ويتضح تأثير المسافة على القدر بمقارنة الأقدار المطلقة والظاهرية بجدول (١) . وتراوح قيم الأقدار المطلقة للنجوم العادية التي تم رصدها بين -١٠ و +١٤ ، وهي تناظر فارقاً في اللمعان بنسبة ١٠ : ١ . وقد جرت العادة على مقارنة النجوم بلمعان الشمس .

نظم قياس القدر (Magnitude systems)

يمكن تعريف نظم مختلفة لقياس الأقدار تبعاً لطريقة الرصد . ويختلف الصفر المناظر لكل منها . بمعنى اختلاف قيمة الفيض F المناظر . بمعنى اختلاف قيمة الفيض F للقدر صفر . وعلى سبيل المثال تسمى الأقدار المناظرة لمنطقة حسابية العين « الأقدار البصرية m » .

أما الألواح الفوتوغرافية فيمكن استخدامها في أجزاء عديدة أخرى من الطيف ، وهي عادة أكثر حساسية في الأزرق والبنفسجي ويسمى القدر في هذه الحالة القدر الفوتوغرافي m_{pg} وهو يختلف عن m_v ويمكن استخدامها في منطقة حساسية العين باستخدام مرشح أصفر والألواح حساسة في الأصفر والأخضر ، والقدر الناتج في هذه الحالة يسمى « فوتو بصرى » (Photovisual) m_{pu} ولو استطعنا قياس الإشعاع في جميع الأطوال الموجية نحصل على ما يسمى القدر البوليومتري m_{bol} (bolometric) . وهذا من الأمور شديدة الصعوبة بسبب امتصاص جزء من الإشعاع في الغلاف الهوائي ، ولأن الأطوال المختلفة تحتاج كثافات مختلفة . ويمكن حساب القدر البوليومتري من البصرى إذا علمنا التصحيح البوليومتري B_c .

$$m_{bol} = m_v - B_c \quad (11)$$

وتعريف التصحيح البوليومتري يعنى أن قيمته صفر للنجوم المماثلة للشمس (ذلك من الرتب الطيفية F5، وسيرد ذكر تلك الرتب فيما بعد) وتزداد قيمته كلما ازداد اختلاف توزيع الإشعاع عن طيف الشمس وهو دائماً موجب سواء كانت النجوم أبعد من الشمس أو أسخن منها ، فمن البديهي أن يكون $m_v \geq m_{bol}$ وتكون قياسات الأقدار أكثر دقة باستخدام كثافات كهروضوئية (Photoelectric) . وعادة تستخدم مرشحات تسمح فقط لجزء معين من الطيف بالسقوط على الكشاف ، وبذلك تستخدم نظم متعددة الألوان أشهرها نظام UVB وفيه تستخدم ثلاثة مرشحات منفصلة في المنطقة U (فوق البنفسجية) و B (الزرقاء) و V (المرئية) وقد استخدم مؤخراً نظام أوسع (UBVR) حيث أضيف إليه المناطق الحمراء وتحت الحمراء وكذلك نظام (uvby) حيث أضيف إليه الأصفر . لكن نظام UVB لا يزال الأوسع استعمالاً . وجدول (٢) يوضح مناطق حساسية المرشحات المستخدمة في تلك الأنظمة .

جدول (٢) المناطق الموجية لمرشحات نظامى UBVR I
و uvby وأطوالها المؤثرة (المتوسطة)

القدر	المنطقة الطيفية	الطول الموجى المؤثر (nm)*
U	٤٠٠ - ٣٠٠	٣٤٠
B	٥٥٠ - ٣٦٠	٤٤٠
V	٦٨٠ - ٤٨٠	٥٥٠
R	٩٥٠ - ٥٣٠	٧٠٠
I	١٢٠٠ - ٧٠٠	٨٨٠
	** عرض المنطقة (uvby)	
u	٣٠	٣٥٠
v	١٩	٤١١
b	١٨	٤٦٧
y	٢٣	٥٤٧

** يلاحظ أن مناطق نظام uvby أضيقت كثيراً منها فى النظام UBVR

$$1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$$

$$= 10^{\circ}\text{A}$$

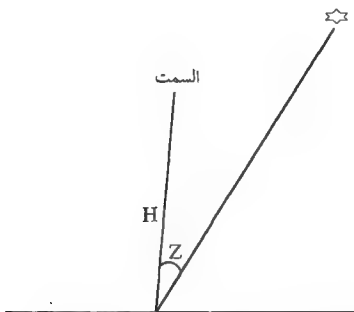
المعاملات الضوئية : (Colour indices)

فى النظم متعددة الألوان يمكن استخدام معاملات ضوئية . والمعامل الضوئى هو الفرق بين قدرين ، ففى نظام UBVR من المتعارف عليه استخدام المعاملات القدر البعدى V (= m_2) فقط والمعاملات U - B ، B - V . وقد اختيرت القيمة القياسية F المناظرة للقدر صفر بحيث تكون المعاملات U - B ، B - V صفراً للنجوم من الرتبة الطيفية A٠ . أما الشمس فإن U - B = 0.10 و B - V = 0.66 و V (= m) = -26.8 .

٤-٥ تأثير الغلاف الهوائى ووسط ما بين النجوم :

يتسبب الغلاف الهوائى ووسط ما بين النجوم (من غار وأتربة وغيرهما) فى همود الإشعاع المار من خلاله بل ويمنع بعضها من اختراقه والوصول إلى سطح الأرض . وجدول (٣) يوضح مدى الارتفاع الذى يمكن أن تصله أنواع الإشعاع المختلفة ويلخص عمليات الامتصاص أو التشتت التى تتعرض لها .

ونتيجة لعمليات الامتصاص والتشتت هذه يتغير القدر مع المسافة التي يقطعها الإشعاع خلال الغلاف الجوى ، وهذه تعتمد على موقع الراصد والبعد السمى للجرم السماوى ، لذا يجب قبل مقارنة الأقدار المختلفة تصحيحها لتأثير الغلاف الهوائى .



شكل (٦) تخفيف المسافة خلال الغلاف الجوى مع المسافة السممية Z

إذا لم تكن المسافة السممية كبيرة (أكبر من ٧٠) يمكن اعتبار الغلاف الهوائى طبقة مستوية ثابتة السمك . وفى هذه الحالة (شكل ٦) يقطع الإشعاع القادم فى اتجاه Z مع الرأس مسافة $X = H \sec Z$

وحيث إن H ثابتة يمكن اعتبارها مساوية للوحدة فتصبح

$$X = \sec Z \quad (12)$$

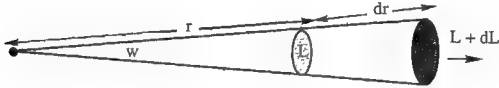
وتسمى X أو (sec Z) كتلة الهواء (air mass) .

ولتعيين التغير فى الضياء مع المسافة التى يقطعها الضوء خلال أى وسط مادى ، ليكن الضياء المنبعث من أحد النجوم فى الزاوية المجسمة W مقداره I_0 ، وتغير خلال المسافة r ليصبح I ، ثم تغير بمقدار dI بتغير فى المسافة مقداره

جدول (٢) الامتصاص بواسطة الهواء والعمق الذي تصل إليه الموجات الكهرومغناطيسية

الطول الموجي بالأمطار	المسمى المعتاد	الارتفاع الذي تصل إليه	وسيلة الامتصاص
الطاقات أكبر من ١٠٠ ألف مليون إلكترون فولت	أشعة جاما فوق المادة	٤٠ كم	عمليات ذرية تكشف من على الأرض بصورة غير مباشرة عن طريق رخات من الجسيمات تحت الذرية .
$\left\{ \begin{array}{l} ١٣-١٠ \\ ١٢-١٠ \end{array} \right.$	أشعة جاما تزيد طاقتها عن القليل من ملايين الإلكترون فولت	٤٠ كم	إنتاج التناثبات حيث تتلاشى أشعة جاما باقترابها من أحد الأنوية وينتج إلكترون وپوزترون .
$\left\{ \begin{array}{l} ١١-١٠ \\ ١٠-١٠ \end{array} \right.$	أشعة جاما منخفضة الطاقة وأشعة X الحادة جدًا	٤٠ كم	تشتت "كوببتون" تطرد الفوتونات إلكترونات من إحدى ذرات الهواء وتفقد بعض طاقتها فتتحول لطول موجي أكبر .
$\left\{ \begin{array}{l} ٩-١٠ \\ ٨-١٠ \\ ٧-١٠ \end{array} \right.$	أشعة X الحادة أشعة X اللينة	٧٠-١٠٠ كم ١٥٠ كم	التأثير الكهروضوئي حيث تنتقل طاقة النيوترون لأحد الإلكترونات وتطرده من ذرته .
$\left\{ \begin{array}{l} ٧٢٠ \times ٣ \end{array} \right.$	الأشعة فوق البنفسجية	٥٠-١٠٠ كم	تحلل وتأيين جزيئات الهواء .
$\left\{ \begin{array}{l} ٧-١٠ \times ٤ \\ ٧-١٠ \times ٧ \end{array} \right.$	الضوء المرئي	—	لا يمتص لكنه يشتت وتضعف الصورة .
$\left\{ \begin{array}{l} ٦٠-٥٠ \\ ٤٦-٣٠ \\ ٣٠-٢٠ \\ ١٠-١٠ \\ ١٠-١٠ \end{array} \right.$	تحت الحمراء القريبة تحت الحمراء تحت الحمراء البعيدة مليمترية ميكروويف	٥ - ١٠ كم	الامتصاص بثاني أكسيد الكربون وبخار الماء .
$\left\{ \begin{array}{l} ١٠-١٠ \\ ١٠-١٠ \\ ١٠-١٠ \\ ١٠-١٠ \end{array} \right.$	الموجة القصيرة الموجة المتوسطة الموجة الطويلة والطويلة جدًا	٩٠-٥٠٠ كم	تشتت النافذة الراديوية مع حالة الأيونوسفير وهو بدوره يعتمد على قدر النشاط الشمسي .
$\left\{ \begin{array}{l} ١٠-١٠ \\ ١٠-١٠ \\ ١٠-١٠ \\ ١٠-١٠ \end{array} \right.$			تنعكس الموجات الراديوية مرة أخرى للفضاء بواسطة الأيونوسفير

dr فيكون dL هو التغير في الضياء نتيجة للبعد وهو يسمى « الهمود أو الخمود » ويمثل النقص في مجموع الإشعاع الواصل نتيجة لعمليات الامتصاص والتشتت أثناء مروره خلال الوسط المادى .



شكل (٧)

و dL تتناسب مع الضياء L ومع المسافة خلال الوسط المادى ، أى أن :

$$dL = -\infty L dr = -L d\tau \quad (13)$$

يسمى المعامل ∞ « العتامة » أما τ فيسمى « السمك البصرى »

ومن الواضح أن : فى الفراغ الكامل $\alpha = 0$

وسط كامل العتامة $\alpha = \infty$

من (13) نجد أن

$$L = L_0 e^{-\tau} \quad (14)$$

ولو كان الفيض على سطح النجم F_0 ، وكان $F(r)$ على بعد r وكان R

نصف قطر النجم يصبح :

$$L = wr^2 F(r) \quad L_0 = wR^2 F_0$$

وبالتعويض فى (14) يكون

$$F(r) = F_0 \frac{R^2}{r^2} e^{-\tau}$$

فإذا كان m هو القدر ، M هو القدر المطلق فإن معامل المسافة $M - m$

يعطى بالعلاقة :

$$m - M = -2.5 \log \frac{F(r)}{F(10)}$$

أو

$$m - M = 5 \log r - 5 + A \quad (15)$$

حيث $A \leq$ صفر . الهمود فى القدر بتأثير الوسط ما بين النجم والراصد ،
إذا كانت العتامة ثابتة على امتداد الوسط تصبح

$$A = 2.5 \log c \tau$$

$$= ar \quad (16)$$

حيث $a = 2.5 \alpha \log c$ قيمة الهمود فى القدر لوحدة المسافة ويسمى
معامل الهمود فى هذه الحالة تصبح (15)

$$m - M = 5 \log r - 5 + ar$$

من المعادلة (15) ، إذا كان m_0 هو القدر المصحح لتأثير الغلاف
الهوائى فإن :

$$m = m_0 + kx \quad (17)$$

حيث $x = \sec Z$ هى كتلة الهواء و K معامل الهمود .

الزيادة اللونية ، Colour excess

حيث إن اللون الأزرق أكثر تشتتًا وامتصاصًا من اللون الأحمر ، يؤدي ذلك
إلى احمرار الضوء الواصل من الأجرام السماوية بتأثير الوسط ما بين النجوم ،
بهذا يزداد المعامل الضوئى $B - V$ ويسمى الفارق .

$$(B - V) - (B - V)_0 = c - E \quad (18)$$

« الزاوية اللونية » حيث $(B - V)_0$ هو اللون الذاتى للنجم أو الجرم
السماوى .

٤ - ٦ الإشعاع وانبعثاته :

ينبعث الإشعاع من الذرات أو الجزيئات إذا انتقلت من مستوى للطاقة إلى
مستوى آخر ، فإذا نقصت طاقة الذرة بمقدار ΔE ينبعث منها كمية من الإشعاع
الكهرومغناطيسى تسمى فوتون ذبذبتها v تعطى بالعلاقة

$$\Delta E = h v$$

حيث h هو ثابت بلانك . كذلك إذا امتصت الذرة فوتوناً ذبذبت ν تزداد طاقتها بمقدار $\Delta E = h\nu$.

والإشعاع الكهرومغناطيسى ينتشر فى صورة موجات مستعرضة تشبه تلك الناتجة من إلقاء حجر فى ماء ساكن . ويتذبذب المجالان الكهربى والمغناطيسى المصاحبان للموجه بالتعاقد مع بعضهما ومع اتجاه تقدم الموجه .

ومستوى طاقة الذرة يرجع لمستوى طاقة الكتروناتها . وطاقة الإلكترون E لا يمكن أن تتخذ أى قيمة ، فمستويات الطاقة مستويات كمية ، فإذا كان مستوى الطاقة الأول للذرة i ، والمستوى الثانى j ، يكون الانبعاث الناتج بذبذبة ν_{ij} حيث

$$I E_i - E_j I = h \nu_{ij}$$

ويكون الطيف الناتج طيفاً خطياً مميزاً لكل عنصر .

وفى درجات الحرارة المنخفضة تكون معظم الذرات فى المستوى الأرضى للطاقة وتسمى مستويات الطاقة الأعلى مستويات مستثارة ، ويسمى الانتقال من مستوى طاقة أقل لمستوى أعلى « استثارة » . وعادة تعود الذرة المستثارة للمستوى الأقل بسرعة شديدة مع انبعاث فوتون حيث تسمى هذه العملية « الانبعاث التلقائى » (Spontaneous emission) .

وفتره عمر الحالة المستثارة حوالى 10^{-10} ثانية . وقد تعود الذرة لمستوى الطاقة الأقل مباشرة أو من خلال عدة انتقالات وسيطة ينبعث فوتون خلال كل منها .

٤-٧ الطيف الذرى والطيف الجزيئى :

تحدد الإلكترونات مستويات الطاقة فى الذرة ويسمى الطيف الناتج من الانتقال بين مستويات الطاقة المختلفة « الطيف الذرى » .

أما فى حالة الجزيئات فتوجد احتمالات كثيرة ، فالذرات يمكن أن تتذبذب حول مواقع اتزانها ، بينما يمكن أن يدور الجزيء حول محور ما ، وطاقات كل

من الذبذبة والدوران طاقات كمية . والانتقال بين مستويات الطاقة التذبذبية ينتج إشعاعاً في المنطقة تحت الحمراء ، بينما تنبعث فوتونات في منطقة الميكروويف نتيجة الانتقال بين مستويات طاقة الدوران . وهذه الانبعاثات مضافة إلى تلك الناتجة من انتقال الإلكترونات تكون حزماً مميزة للطيف الجزيئى ، فيظهر هذا الطيف فى صورة حزم رقيقة مكونة من عدد كبير من الخطوط الطيفية .

٤-٨ الطيف المستمر :

تسبب بعض العوامل مثل الحركة الحرارية للذرات فى زيادة عرض الخطوط الطيفية ، فإذا كانت هذه الخطوط كثيرة ومتقاربة يبدو الطيف مستمراً ، ويصعب التفريق بين الخطوط المكونة له ، ويمكن تلخيص العمليات المنتجة للطيف المستمر فى :

- ١ - الانتقال الحر - المقيد ، حيث إن طاقة الإلكترون الحر ليست كمية .
- ٢ - الانتقال الحر - الحر .
- ٣ - الانتقال المقيد - الحر .
- ٤ - طيف الغازات الساخنة المضغوطة .

٥ - كذلك يتسبب المجال الكهربى فى زيادة عرض خطوط الطيف فيبدو مستمراً . ونفس الظاهرة تحدث فى السوائل والمواد الصلبة لزيادة التقارب بين الذرات .

٤-٩ إشعاع الجسم الأسود :

يعرف الجسم الأسود بأنه جسم لا يعكس ولا يشتت ما يسقط عليه من ضوء بل يمتصه كله ثم يعيد إشعاعه من جديد . هذا الجسم وإن لم يكن له وجود فى الحقيقة إلا أن كثيراً من الأجسام تتصرف بدرجة كبيرة كما لو كانت أجساماً سوداء .

ويعتمد إشعاع الجسم الأسود فقط على درجة حرارته ، ويخضع توزيع أطواله الموجية لقانون « بلانك Planck » ، فتعطى شدة الإشعاع الذى ذبذبه ν بالعلاقة :

$$B_V(T) = \frac{2hv^3}{C^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{hv}{kt}\right) - 1} \quad (19)$$

حيث

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Joule} \quad (\text{ثابت بلانك})$$

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/sec} \quad (\text{سرعة الضوء})$$

$$K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/k}^{-1} \quad (\text{ثابت بولتزمان})$$

ويمكن بمكاملة المعادلة (19) إيجاد صيغة للفيض (كم الإشعاع الصادر من وحدة المساحات في جميع الاتجاهات) وهي تسمى قانون ستيفان بولتزمان .

$$F = \sigma T^4 \quad (20)$$

$$\text{حيث } \sigma \text{ ثابت ستيفان بولتزمان} = 5.67 \times 10^{-8} \text{ wm}^{-2} \text{ k}^{-4}$$

فإذا كان النجم يشع كجسم أسود يصبح ضيائه

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T^4 \quad (21)$$

ويمكن إيجاد الطول الموجي المناظر لأكبر شدة إشعاع بمفاضلة قانون بلانك ومساواة الناتج بالصفر فنحصل على قانون « فيز » للإراحة .

$$\lambda_{\text{mex}} T = b \quad (22)$$

حيث b ثابت فيز للإراحة ويساوى 0.0028978 km .

٤-١٠ أطياف النجوم :

تصنف النجوم تبعاً لأطيافها طبقاً لأحد تصنيفين أساسيين ، تصنيف هارفارد Harvard وهو مبني على خطوط حساسة أساساً لدرجة الحرارة أكثر من ضياء النجم أو ثقافته ، وتصنيف « بيرك » Yerck وهو يأخذ الضياء في الاعتبار إضافة لدرجة الحرارة . وسنكتفى بشرح موجز لتصنيف هارفارد حيث إنه الأكثر استخداماً في الوقت الحالي .

أهم الخطوط المستخدمة في هذا التصنيف هي خطوط « بالمر » في طيف الهيدروجين وخطوط الهيليوم المتعادل والحديد وخطا الكالسيوم المتأين عند $396,8$ و $393,3$ نانومتر وخطوط أخرى للكالسيوم وأكسيد التيتانيوم وجزء CH .

والأصناف الأساسية في هذا التصنيف مرتبة بحيث تقل درجة الحرارة تجاه الجهة اليسرى من المتابعة وهى :

$$O - B - A - F - G - K - M_{\odot}$$

ويضاف إليها Q للنجوم البراقة (Nova) و P للسدم الكوكبية و W لنجوم « ولف رايت » . والصنف C يشتمل على كل من الصنفين R , N اللذين كانا يستخدمان قديماً .

وتقسم الأصناف السابقة داخلياً إلى أقسام من صفر إلى ٩ وفى بعض الأحيان تستخدم الكسور العشرية . وتندرج الشمس تحت الصنف G2 .

وجداول (٤) يلخص الصفات الأساسية لأطياف النجوم من الأصناف المختلفة فى تصنيف هارفارد وبعض أمثلتها .

النجوم الشاذة :

تختلف أطياف بعض النجوم عن المتوقع تبعاً لحرارتها وضياؤها تسمى تلك بالنجوم الشاذة ويمكن إيجادها فيما يلى :

١ - نجوم ولف رايت ، وهى نجوم ساخنة جداً تتميز بخطوط طيف انبعاث عريضة لعناصر الهيدروجين والهيليوم المتأين والكربون والنيتروجين والأكسجين .

٢ - يوجد فى خطوط امتصاص الهيدروجين فى بعض النجوم من الصنفين O ، B مركبات انبعاث ضعيفة ، إما فى مركز خط الامتصاص أو عند أجنحته . تسمى تلك نجوم Be ونجوم الأغلفة حيث تتكون خطوط الانبعاث هذه فى أغلفة غازية تحيط بالنجم . وتمثل تلك النجوم حوالى ١٥ ٪ من مجموع النجوم من الصنفين O ، B .

٣ - أما النجوم الشاذة من صنف A وتسمى Ap فهى نجوم شديدة المغنطة تنقسم الخطوط فيها لمركبات عديدة ، وتبدو خطوط بعض العناصر مثل الماغنسيوم والسليكون شديدة بدرجة غير عادية فى أطياف تلك النجوم .

جدول (٤) التصنيف الطيفي (هارفارد)

الصف	اللون	درجة الحرارة السطحية (°K)	الملاحظات الأساسية	أمثلة
O	أزرق	٢٠ ألف إلى ٣٥ ألف	خطوط امتصاص قليلة نسبياً وخطوط أقوى لعناصر شديدة التأين. تظهر خطوط الهيدروجين ضعيفة.	النجم العاشر في كوكبة السحلية (Lizard).
B	أزرق - أبيض	١٥٠٠٠	خطوط الهيليوم المتعادل - خطوط السليكون والأكسجين والماغنسيوم المتأينة، خطوط الهيدروجين أقوى منها في الصف ٥.	رجل الجبار - السنبلة (السماك الاغزل) .
A	أبيض	٩٠٠٠	خطوط الهيدروجين قوية - خطوط بعض الفلزات المتأينة كما ترى خطوط بعض الفلزات المتعادلة ضعيفة.	الشعري اليمانية - النسر الواقع .
F	أبيض - أصفر	٧٠٠٠	خطوط الهيدروجين أضعف من صف A لكنها لا تزال واضحة خطوط فلزات متأينة ومتعادلة.	نجم سهيل - الشعري الشامية.
G	أصفر	٥٥٠٠	أوضح الخطوط هي خطوط الكالسيوم المتأينة-خطوط عديدة لفلزات متأينة ومتعادلة-خطوط الهيدروجين أضعف منها في صف F.	تجم العنز الشمس نجم العنز
K	برتقالي - أصفر	٤٠٠٠	تسود خطوط الفلزات المتعادلة .	السماك الرامح - الثور
M	أحمر	٣٠٠٠	تسود خطوط قوية للفلزات المتعادلة وحزم أكسيد التيتانيوم الجزيئية .	قلب العقرب منكب الجوزاء
C (R,N)	شديدة الاحمرار	٣٠٠٠	طيف جزيئي قوى وبعض الخطوط الطيفية مثل تلك الموجودة في الصنفين K و M .	
S	حمراء	أقل من ٣٠٠٠	طيف جزيئي مثل أكسيد الزركونيوم وأكسيد التيتانيوم .	

٤ - توجد فى الصنف A نجوم أخرى تسمى Am أقل شذوذاً فى طيفها من Ap إلا أن أطيايف العناصر الأرضية النادرة والعناصر الثقيلة أشد من المعتاد بينما تقل شدة خطوط الكالسيوم والإثانديوم .

٥ - يوجد صنف آخر شاذ من النجوم العملاقة تسمى نجوم الباريوم ، حيث تزداد فيها شدة خطوط الباريوم والترونشيوم والعناصر الأرضية النادرة ، وكذلك بعض مركبات الكربون .

٤- ١١ شكل هيرتزسبرونج وراسل :

هو علاقة بين لمعان النجم ودرجة حرارته (أى صنفه الطيفى تبعاً لتصنيف هارفارد) وكما هو موضح فى الشكل (٨) يتبين أن النجوم لا تتوزع عشوائياً بل فى مجموعات يمكن إيجازها كالتالى :

١ - أغلبية النجوم تقع فى تتابع ضيق يبدأ أعلى يسار الشكل (النجوم الساخنة اللامعة) ويمتد إلى أسفل يمين الشكل (النجوم الباردة الأقل لمعاناً) .
ويسمى هذا « التابع الرئيسى » .

والعامل الرئيسى الذى يحدد موقع النجم على التابع الرئيسى هو كتلته ، فأكبر كتلة هو الأسخن والأكثر لمعاناً ، وجدول (٥) يلخص سمات نجوم التابع الرئيسى .

جدول (٥) سمات نجوم التابع الرئيسى

الصنف الطيفى	الكتلة (الشمس = ١)	اللمعان (الشمس = ١)	درجة الحرارة C°K	نصف القطر (الشمس = ١)
O5	٤٠	10×5	٤٠٠٠٠	١٨
BO	١٦	10×2	٢٨٠٠٠	٧
AO	٣,٣	٨٠	١٠٠٠٠	٢,٥
FO	١,٧	٦	٧٥٠٠	١,٤
GO	١,١	١,٣	٦٠٠٠	١,١
KO	٠,٨	٠,٤	٥٠٠٠	٠,٨
MO	٠,٤	٠,٠٣	٣٥٠٠	٠,٦



٢ - يقع عدد كبير من النجوم أعلى الشكل (النجوم الباردة اللامعة)
تسمى هذه النجوم « فوق العمالقَة » ويقع أسفلها مجموعة أخرى تسمى العمالقَة .
٣ - يقع أسفل يسار الشكل نجوم (ساخنة قليلة اللامعان) تسمى الأقزام
البيضاء .

٤ - فى المنطقة القريبة من الشمس يقع حوالى ٩٠ ٪ من النجوم على
التتابع الرئيسى ، بينما ١٠ ٪ أقزام بيضاء وأقل من ١ ٪ عمالقَة أو فوق العمالقَة .
٥ - تتراوح أقطار النجوم على التتابع الرئيسى بدءاً من الصنف M حتى
الصنف O بين ١ ٪ إلى ١٠ - ٢٠ مرة مثل قطر الشمس . أما العمالقَة فقد يزيد
قطرها عن ١٠٠ مرة قدر قطر الشمس ، بينما يقل قطر الأقزام البيضاء عن $\frac{1}{10}$ من
قطر الشمس .

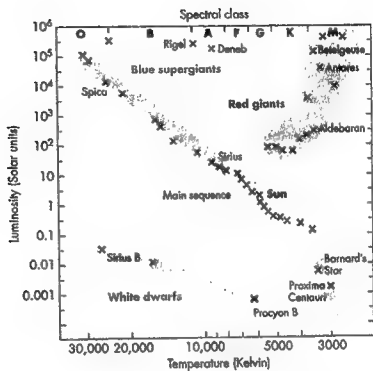
٦ - تقع الشمس على التتابع الرئيسى وصنفها $G2$.
٧ - العمالقَة والأقزام كانت يوماً من نجوم التتابع الرئيسى ثم تركته لما
تقدم بها العمر .

٤-١٢ أجواء النجوم :

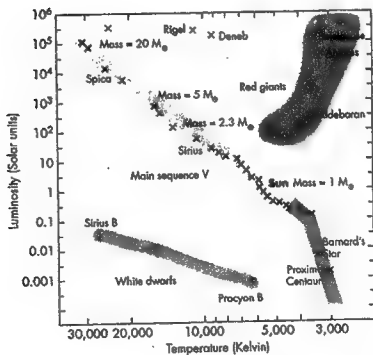
تتكون أجواء النجوم من تلك الطبقات التى يتولد فيها الإشعاع الذى ينتقل
مباشرة إلى الراصد . لذا فمن المطلوب المقدرة على حساب تركيب جو النجم
والإشعاع الخارج منه حتى يكون بمقدورنا تفسير طيف النجم تفسيراً صحيحاً .
ومثل هذا الحساب يتعقد كثيراً بتأثير دوران النجم ومجاله المغناطيسى . وليس
هنا مجال الإسهاب فى هذه العملية شديدة التعقيد . كل ما نود الإشارة إليه هو
أن حساب نموذج لجو نجم يعنى تعيين العوامل الفيزيائية المختلفة مثل الضغط
ودرجة الحرارة والكثافة ودرجة التأين كدوال فى السمك الضوئى T . وهو ما
يمكن من الربط بين ما يصلنا من إشعاع وبين الإشعاع الصادر من الطبقات
الداخلية من جو النجم أو من باطنه .

٤-١٣ قياس الحرارة :

تفاوت درجات حرارة الأجسام الفلكية مما يقارب الصفر المطلق إلى



شکل (۸) شکل هرتزسپرونگ و رسل



شکل (۹) شکل هرتزسپرونگ و رسل

ملايين الدرجات . ولدرجات الحرارة تعريفات مختلفة لا تتفق إلا فى وجود حالة من الاتزان الديناميكي الحرارى ، وحيث إن معظم الأجسام التى تدرسها الفيزياء الفلكية لا تستوفى هذا الشرط فلا يمكن تحديد درجة حرارة واحدة لها . وتعين درجة حرارة أى جسم باعتباره جسمًا أسود مع حذف تأثير الخطوط الطيفية . وبذلك يمكن تعريف درجات الحرارة الآتية :

١ - درجة الحرارة الفعالة، (Effective T)

درجة حرارة جسم أسود يشع نفس الإشعاع الكلى الذى يشعه الجسم . وتحسب من قانون ستيفان - بولتزمان .

٢ - درجة الحرارة اللونية (Colour T)

هى حرارة النجم التى يتم تعيينها باستخدام شدة الإشعاع عند طولين موجيين (أو لونين) أو أكثر .

٣ - درجة الحرارة الإشعاعية (Brightness or Radiation T)

هى درجة حرارة جسم أسود يشع نفس قدر الطاقة التى يشعها الجسم فى منطقة طيفية معينة .

٤ - درجة حرارة الاستثارة (Excitation T)

هى درجة الحرارة المقدرة من الشدة النسبية لخطوط الطيف ، والتى تشعها ذرات فى درجات استثارة مختلفة .

٥ - درجة حرارة التأين (Ionization T)

هى درجة الحرارة المقدرة من الشدة النسبية لخطوط الطيف الناتجة من ذرات فى درجات تأين مختلفة .

٦ - درجة الحرارة الحركية، (Kinetic T)

هى قياس لسرعات الجزيئات (أو متوسط طاقة حركتها) وهذا القياس هام فى الطبقات الخارجية لأجواء الكواكب .

٤ - ١٤ ماذا عن نتائج الأرصاد ؟ :

فيما يلى نوجز الأسس العامة لتعيين خصائص النجوم باستخدام الأرصاد .



الكتلة :

تعين كتل النجوم المزدوجة من دراسة ديناميكية الحركة وهو ما سنعطى بعض تفصيله فى الفصل السادس . وقد أوضحت نتائج الأرصاد وجود علاقة بين الكتلة M والضياء L تسمى « علاقة الكتلة والضياء » . وهى تبين كالاتى :

للنجوم الثقيلة (أكبر من ٣ أمثال الشمس)

$$L \propto M^3$$

للنجوم الخفيفة (أقل من $\frac{1}{10}$ كتلة الشمس)

$$L \propto M^{2.5}$$

وأصغر كتل النجوم التى تم رصدها حوالى $\frac{1}{10}$ من كتلة الشمس ، ونقع فى الجزء الأسفل الأيمن من شكل H.R ، بينما تقل كتلة القزم الأبيض عن كتلة الشمس . وتتراوح كتل النجوم الأكثر ثقلاً على التابع الرئيسى وفى النجوم فوق العملاقة بين ١٠ - ٥٠ مثل كتلة الشمس .

نصف القطر :

تعين أنصاف الأقطار من رصد نصف القطر الزاوى والمسافة ، أما فى المزدوجات الكسوفية (التى يختفى فيها كل من النجمين خلف الآخر أثناء الحركة) فيمكن تعيين نصف القطر مباشرة من المعلومات المدارية وخصائص الكسوف . أما فى الحالات الأخرى فيستخدم الضياء ودرجة الحرارة الفعالة . وتفاوت أنصاف أقطار النجوم بدرجة كبيرة فتقل فى الأقزام البيض عن $\frac{1}{10}$ من نصف قطر الشمس ، بينما تصل النجوم فوق العملاقة الكبيرة لعدة آلاف نصف قطر الشمس .

الكثافة :

يسبب التفاوت الواسع فى أنصاف أقطار النجوم تفاوتاً فى كثافتها حتى أنها قد تقل فى العملاقة إلى ١٠-٤ كجم / م^٣ بينما تصل كثافة الأقزام البيض لحوالى مليون طن / م^٣ .

سرعات الدوران :

تظهر سرعات الدوران في زيادة عرض الخطوط الطيفية نتيجة إزاحة دوبلر الناتجة من اقتراب إحدى حافتي النجم وابتعاد الأخرى ، وتظهر الأرصاد أن النجوم الأسخن تدور أسرع من الأبرد، وتتراوح سرعة الدوران عند خط الاستواء ما بين ٢٠٠ - ٢٥٠ كم/ث للنجوم من الصنفين O و B إلى حوالي ٢ كم / ث للصنف . بينما تصل في نجوم الأغلفة إلى ٥٠٠ كم / ث .

التركيب الكيميائي :

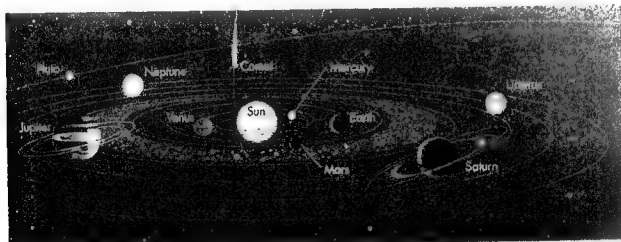
يستتبط تركيب الطبقات الخارجية من شدة خطوط الطيف . وعادة ما يكون الهيدروجين حوالي ٧٥ ٪ من كتلة النجم والهيليوم حوالي ٢٥ ٪ أما بقية العناصر فنسبتها قليلة جداً . وتبلغ نسبة العناصر الثقيلة في النجوم البافعة حوالي ٢ ٪ من كتلتها وهي تزيد كثيراً عن نسبتها في النجوم القديمة حيث لا تزيد عن ٠,٢ ٪ .



الفصل الخامس

المجموعة الشمسية

زحل	٢-٧-٥	نظرة عامة	١-٥
يورانيوس	٣-٧-٥	نسق الكواكب	٢-٥
نبتون	٤-٧-٥	مدارات الكواكب والأقمار	٣-٥
بلوتو	٨-٥	الأرض	٤-٥
المذنبات	٩-٥	القمر	٥-٥
الشهاب والنيازك	١٠-٥	الكواكب الأرضية	٦-٥
الكويكبات	١١-٥	عطارد	١-٦-٥
العبار ما بين الكواكب	١٢-٥	الزهرة	٢-٦-٥
مارسا عن الكوكب X	١٣-٥	المريخ	٣-٦-٥
نشأة المجموعة الشمسية	١٤-٥	السيارات العظمى	٧-٥
المجموعات الشمسية الأخرى	١٥-٥	المشتري	١-٧-٥



تضم المجموعة الشمسية نجمًا مركزيًا هو الشمس وتسعة كواكب وعشرات من الأقمار وآلاف من الكويكبات ، بالإضافة لأعداد وافرة من المذنبات والشهابيات والبحث جار عن كوكب عاشر تشير الحسابات المدارية لوجوده .

٥-١ نظرة عامة :

يمكن تقسيم الكواكب من الناحية الفيزيائية إلى مجموعتين ، تضم الأولى كلا من عطارد والزهرة والأرض والمريخ وتسمى « الكواكب شبيهة الأرض » . أما المجموعة من المشتري وحتى نبتون فتسمى « شبيهة المشتري » أو السيارات العظمى « بينما يمثل بلوتو حالة فريدة تختلف عن هذا التصنيف .

وتشارك الكواكب شبيهة الأرض فى الخصائص العامة التالية :

١ - صغيرة الحجم والكتلة مقارنة بالسيارات العظمى حيث تتراوح أنصاف أقطارها بين ٢٤٣٩ (عطارد) و ٦٣٧٨ كيلو متر (الأرض) . ولا تتعدى كتلة عطارد ٠,٥٥٣ ، من كتلة الأرض .

٢ - درجات حرارتها عالية نسبيًا لقربها من الشمس ، وساعد هذا على عدم احتفاظها بالغازات الخفيفة مثل الأيدروجين .

٣ - المسافات بينها وبين الشمس قريبة نسبيًا .

٤ - نتيجة لصغر كتلتها وارتفاع حرارتها هربت أجواؤها الأصلية بالكامل .

٥ - كثافتها عالية لتخلصها من الغازات الخفيفة (متوسط كثافة المريخ ٣,٥ جم / سم^٣ والأرض ٥,٤ جم / سم^٣) .

٦ - لها أسطح صلبة حيث بردت مبكرًا لصغر كتلتها .

أما الكواكب شبيهة المشتري فتختلف اختلافاً بيناً عن الكواكب الأرضية . فأقمارها عديدة وهى عوالم قائمة بذاتها ، بل إن بعض تلك الأقمار فى حجم

عطارد ، والبيئة فوق أسطحها تختلف تماماً ، فلها مدارك تطور مختلفة وهي تضيء نقاطاً أخرى في تاريخ تطور المجموعة الشمسية فهي عوالم بدائية تبدو بدرجة كبيرة كمظهرها حين نشأتها ، وتركيبها الداخلى يشبه الشمس بدرجة كبيرة؛ فالأيدروجين يمثل أكثر من ٧٧ ٪ من تركيبها ، بينما يمثل الهيليوم ٢٢ ٪ والباقي آثار من الماء والميثان والأمونيا مع قليل من مادة الصخور . ويمكن إيجاز خواصها العامة في :

- ١ - كبيرة في الحجم والكتلة (أصغرها يورانوس = ١٤ مرة قدر كتلة الأرض بينما المشتري = ٣١٨ مرة) .
- ٢ - باردة لدرجة كبيرة لبعدها الكبير عن الشمس (٥,٢ - ٣٠,١ وحدة فلكية) .
- ٣ - تحتفظ بالغازات الخفيفة كالهيدروجين ، ولذلك فكثافتها صغيرة (١,٦ جم / سم^٣ لنتون و ٧ جم / سم^٣ لزحل) .
- ٤ - ليس لها أسطح صلبة لبطء برودتها نتيجة لكبر كتلتها .
- ٥ - تدور حول محورها بسرعة كبيرة ، ولذلك لها مجالات مغناطيسية كبيرة (٩,٩ جاوس للمشتري إلى ١٧,٢ جاوس ليورانوس) .
- ٦ - لها حلقات تدور حولها بالإضافة للأقمار وهي كثيرة العدد (للمشتري ١٦ قمراً) .
- ٧ - المسافات بينها كبيرة (تتوزع على حوالى ٢٥ وحدة فلكية ، بينما تتوزع شبيهة الأرض على ١,٥ وحدة فلكية) .
- ٨ - عاكسيتها عالية لكثافة أغلفتها الجوية .
- ٩ - تشع من داخلها قدرًا كبيرًا من الطاقة حيث ما زالت في مرحلة الانكماش الثقافى لكبر كتلتها (المشتري مثلاً يشع ضعف ما يستقبله من الشمس) .
- ١٠ - تشابه كثيراً في أغلفتها الجوية وتركيبها الداخلى .

٥-٢ نسق الكواكب : (Configurations)

تسمى الكواكب التى تقع مداراتها خارج مدار الأرض (المريخ - المشترى - زحل - يورانوس - نبتون - بلوتو) الكواكب العلوية (Superior Planets) ، بينما تسمى تلك التى تقع مداراتها داخل مدار الأرض (عطارد - الزهرة) الكواكب السفلية (Inferior Planets) .

١- الاستطالة (E) :

هى الزاوية $(P\oplus S)$ عند الأرض بين اتجاه الكواكب واتجاه الشمس (شكل ١) ، وهى تساوى الفرق بين الطول السماوى للكواكب والطول السماوى للشمس . وتسمى الاستطالة شرقية أو غربية حسبما يُرى الكوكب إلى الشرق من الشمس أو إلى الغرب منها .

ويمثل الكوكب « نجماً مسائياً » يغرب بعد الشمس إذا كانت استطالته شرقية ، أما إذا كانت استطالته غربية فإنه يُرى فى الصباح ويسمى « نجماً صباحياً » . وأقصى استطالة (شرقاً أو غرباً) تبلغ ٢٨ لعطارد و ٤٧ للزهرة .

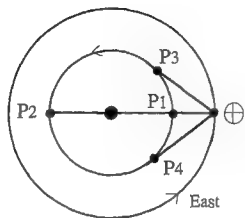
٢- زاوية الطور (α) :

هى الزاوية $SP \oplus$ عند الكواكب بين اتجاه الشمس واتجاه الأرض . (شكل ١ b) وهى تتراوح بين صفر ، ١٨٠ للكواكب السفلى . لذا يمكن رؤية أوجه لعطارد والزهرة مشابهة لأوجه القمر فنرى القرص كاملاً أو نرى نصفه . أما الكواكب العلوية فقيم α لها محدودة وأقصى قيمها ٤١ للمريخ و ١١ للمشتري و ٢ لبلوتو .

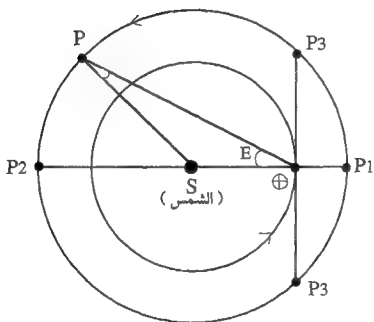
٣- الاستقبال (Opposition) :

عندما تقع الأرض مباشرة بين كوكب علوى وبين الشمس يُرى الكوكب على الكرة السماوية فى عكس اتجاه الشمس ، ويقال أن الكوكب فى وضع استقبال (الوضع P_1 فى شكل ١ b) . فى هذه الحالة يشرق الكوكب مع غروب الشمس ويظل فوق الأفق حتى يغرب مع شروقها . وفى وضع الاستقبال تكون الاستطالة ١٨٠ بينما تكون زاوية الطور صفراً .

ومن الواضح أن الكواكب السفلية لا يمكن أن تقع فى وضع الاستقبال .



(a)



(b)

شكل (١)

نصف الكواكب (a) كوكب عطارد ، (b) كوكب عطارد

٤ - الاقتران (Conjunction) :

هو الوضع الذى يكون فيه الكوكب العادى خلف الشمس (الوضع P_2 فى الشكل b ١) ، وهو لا يمكن أن يُرى فى هذا الوضع . أما بالنسبة للكواكب السفلية فيقال أن الكواكب فى وضع اقتران سفلى إذا وقع الكوكب بين الأرض والشمس (P_1 فى الشكل a ١) ، فإذا وقع خلف الشمس فإنه فى وضع اقتران علوى (الوضع P_2 فى الشكل a ١) .

٥ - التربيع (Quadrature) :

إذا كان اتجاه الكوكب يصنع زاوية 90° مع اتجاه الشمس يُقال أنه فى وضع تربيع . وهو هذا الوضع يشرق ويغرب إما فى الظهر أو فى منتصف الليل (الأوضاع P_3 فى الشكل b ١) .

٦ - الدورة الاقترانية :

هى الدورة بين حدثين متتاليين مثل الفترة بين استقباليين متتاليين أو بين اقترانين متتاليين ، أو فترة دوران كوكب حول الشمس بالنسبة لكوكب آخر .

فإذا افترضنا أن السرعات الزاوية المتوسطة لكوكبين هى n_1 ، n_2 وأن $n_2 < n_1$ ، فتكون سرعة الكوكب الأول بالنسبة للثانى . $n = n_1 - n_2$

فإذا كانت دورة الكوكب الأول P_1 والثانى P_2 والدورة الاقترانية P يكون :

$$n_1 = \frac{2\pi}{P_1}, \quad n_2 = \frac{2\pi}{P_2}, \quad n = \frac{2\pi}{P}$$

وبالتعويض فى المعادلة السابقة ينتج أن :

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \quad (1)$$

ويلاحظ أن ما نعينه بالرصد لأى كوكب هو دورته الاقترانية بالنسبة للأرض

وليس دورته النجمية ، ومنها يمكن دورة الكوكب النجمية .

٧ - قانون « بود » :

هو قاعدة تيسر تذكر أبعاد الكواكب عن الشمس ، ولصيغة القاعدة نتبع

الخطوات الآتية :

١ - نكتب المتوالية (0 , 3 , 6 , 12 , ...) بمضاعفة كل حد بعد الحدين الأولين .

٢ - تصنيف ٤ لكل حد .

٣ - نقسم كل حد على ١٠ نحصل على بعد الكوكب عن الشمس بالوحدة الفلكية . ويوضح جدول (١) أبعاد الكواكب تبعاً لقانون يود والأبعاد الحقيقية . وفي هذا الجدول يلاحظ فشل هذا القانون تماماً في تقدير أبعاد كل من نبتون وبلوتو ، أما بين المريخ والمشتري فلا يوجد كوكب على المسافة المحسوبة إلا أن متوسط بعد الكوكب « سيريس » يساوي ٢,٧٧ وحدة فلكية وهي تتطابق تقريباً مع القيمة المقدرة بقاعدة يود .

جدول (١) أبعاد الكواكب عن الشمس

الكوكب	البعد المقدر (وحدة فلكية)	البعد الحقيقي (وحدة فلكية)
عطارد	$(0 + 4) / 10 = 0.4$	0.3871
الزهرة	$(3 + 4) / 10 = 0.7$	0.7233
الأرض	$(6 + 4) / 10 = 1.0$	1.0000
المريخ	$(12 + 4) / 10 = 1.6$	1.5236
(Ceyes)	$(24 + 4) / 10 = 2.8$	2.7673
المشتري	$(48 + 4) / 10 = 5.2$	5.2025
زحل	$(96 + 4) / 10 = 10.6$	9.5633
يورانيوس	$(192 + 4) / 10 = 19.6$	19.2937
نبتون	$(384 + 4) = 38.8$	30.2743
بلوتو	$(768 + 4) / 10 = 77.2$	39.6823

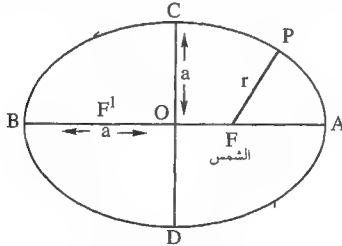
٥ - ٣ مدارات الكواكب والأقمار:

مدار الكوكب هو المسار الذى يتبعه الكوكب فى حركته حول الشمس ، أما مدارات الأقمار فهى المسار الذى يقطعه كل قمر فى حركته حول الكوكب التابع . وقد كان يظن قديماً أن الأرض هى مركز المجموعة الشمسية ، وكان أول تقنين صحيح لحركة الكواكب هو قوانين كبلر التى صاغها الرياضى الألمانى «يوهان كبلر» بناء على تحليله الذى استغرق السنوات من ١٦٠٩ وحتى ١٦١٩ لأرصاء دقيقة أجراها الفلكى الدنمركى « نيكوبراه » . قوانين كبلر هذه وإن كانت تصف بصورة مرضية حركة الكواكب حول الشمس إلا أنه لا يمكن استخدامها للتنبؤ الدقيق بحركة الكواكب والأقمار ، بل يتم ذلك من خلال دراسات شديدة التعقيد باستخدام قوانين نيوتن ونظرية أينشتاين للنسبية العامة .

١ - قوانين كبلر لحركة الكوكبية :

هى ثلاثة قوانين منطوقها (شكل ٢)

- ١ - مدار الكوكب عبارة عن قطع ناقص تقع الشمس فى إحدى بؤرتيه .
- ٢ - يقطع الخط الواصل من الشمس إلى الكوكب مسافات متساوية فى أزمنة متساوية .
- ٣ - يتناسب مربع الزمن الدورى تناسباً طردياً مع مكعب متوسط بعد الكوكب عن الشمس .



شكل (٢) حركة الكواكب حول الشمس

ولشرح هذه القوانين نتعرف على القطع الناقص ببساطة كما لو كان دائرة استطالت فصار لها مركزان F و F^1 (لا مركز واحد) يسمى كل منهما بؤرة . كما صار له قطر أكبر $AB = 2a$ وقطر أصغر $CD = 2b$. وتقاس استطالة هذا القطع بكمية e تسمى الاختلاف المركزي ، وإذا كانت $e = 0$ تنطبق F^1 على F ويتحول الشكل إلى دائرة ، ويرتبط كل من نصف القطر الأكبر a ونصف القطر الأصغر b والاختلاف المركزي e بالعلاقة :

$$b = a\sqrt{1 - e^2}$$

ويتحرك الكوكب في مداره هذا من الغرب إلى الشرق ، فإذا كانت الشمس في البؤرة F يكون الكوكب في أقرب أوضاعه منها عند A ، ثم يبعد ليصل لأقصى بعد عنها عند B وتسمى A نقطة الحضيض وتسمى B نقطة الأوج . ومتوسط بعد الكوكب عن الشمس هو a .

فإذا كان P هو زمن الدورة الكاملة للكوكب حول الشمس فإن القانون الثالث يعنى أن :

$$\frac{a^3}{p^2} = \text{ثابت}$$

وهي صيغة تقريبية ، أما الصيغة الدقيقة فهي :

$$\frac{a^3}{p^2} = \frac{G(m + M)}{4\pi^2}$$

حيث m كتلة الكوكب و M كتلة الشمس و G ثابت الجاذبية العام .

وقيم e لجميع الكواكب صغيرة جداً عدا كوكبي عطارد وبلوتو وقيمتها لهذين الكوكبين هي 0.255 ، 0.26 على الترتيب .

أما الأقمار والكويكبات والمذنبات فمداراتها أكثر استطالة حيث تصل لقمر المشتري رقم VIII (الباسيفي) إلى 0.38 ولقمر نبتون رقم II (تيريد) إلى ٠.٧٥ . وهي تقارب الواحد الصحيح لكثير من المذنبات .

وتعانى مدارات الكواكب والأقمار وغيرها من أفراد أسرة الشمس اضطرابات كبيرة نتيجة الجذب المتبادل والمعتمد على كتلتها وأبعادها المتبادلة .

٥ - ٤ الأرض :

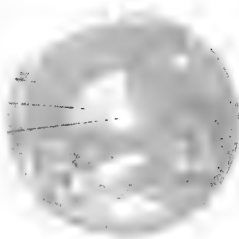
هى ثالث الكواكب بعداً عن الشمس ، وهى كوكب فريد فى كميات المياه الوفيرة السابحة فوق سطحها . والتى ساعد على توافرها فى الحالة السائلة أن حرارة الأرض أقل من درجة غليان الماء وأعلى من درجة تجمدها . كذلك هى الكوكب الوحيد المعروف بوجود حياة عليه . والأرض كرة اتبعجت فقل قطرها القطبى عن الاستوائى . فنصف القطر الاستوائى حوالى ٦٣٧٨,١٤ كم بينما القطبى ٦٣٥٦,٧٥٥ كم ويصل حجمها بذلك لجزء من مليون و ٣٠٠ ألف جزء من حجم الشمس ، أما كتلتها فهى جزء من ٣٣٠ ألف جزء من كتلة الشمس ، ويبلغ عمر الأرض حوالى ٤٦٠٠ مليون سنة .

٥ - ٤ - ١ جيولوجيا الأرض :

الأرض كوكب نشط جيولوجيا ، وليس أدل على هذا النشاط من الزلازل والبراكين وتحرك القارات وتكون الخامات المختلفة وغيرها . وتتكون الأرض من لب من الحديد والنيكل حرارته حوالى ٥٠٠٠ ك تحت ضغط حوالى ٣ × ١١٠ نيوتن / م^٢ وكتافته حوالى ١٢٠٠٠ كم / م^٣ ، وتشير القياسات السيزمية أن هذا اللب منصهر وإن كان هناك احتمال كبير أن يكون الجزء الداخلى منه صلباً . ويقدر نصف قطر اللب الصلب بحوالى ١٢٠٠ كم وسماك الجزء المنصهر بحوالى ٢٢٧٠ كم .

يلى هذا اللب وشاح (دثار) من السليكات سمكه حوالى ٢٩٠٠ كم وهو يبدو نتيجة للضغط الشديد الذى يتعرض له كما لو كان سائلاً لزجاً أو كوسط مسامى مما ينتج عنه انسياب رأسى بطيء . ويسبح أعلى هذا الشاح قشرة رقيقة يتراوح سمكها بين ٨ كم (تحت المحيطات) إلى ٧٠ كم تحت قارات اليابسة . وتسبب حركة المادة فى الشواح إلى زحف القارات . فقد كانت القارات متلاصقة منذ حوالى ٢٠٠ مليون سنة فى تلك الحقبة تغير نمط الحركة فى الشواح فتجزأت القارة الأولية ونشأت القارات الحالية . وما زال المحيط الأطلنطى يتسع بينما تطفو مادة جديدة فى الحافة الوسطى ، وما زالت أمريكا الشمالية تتباعد عن أوروبا عدة سنتيمترات كل سنة .

Crust
Mantle
Liquid core
Solid inner
core

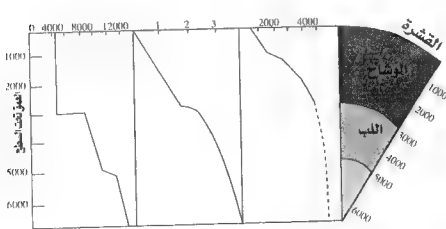


كذلك تطفو مادة جديدة عند أحرف البحر المتوسط فتتباعد الصفائح التكتونية ، وتتكون الجبال إذا ما تصادم صفيحتان ، أما عند حدود القارات فيمكن أن تندفع صفيحة تحت أخرى فتسبب زلازل قد تكون على عمق يصل إلى ٦٠٠ كم . أما الزلازل التي تحدث عند أحرف البحر المتوسط فلا يتعدى عمقها عشرات الكيلومترات .

كذلك يتأثر سطح الأرض بعوامل التعرية المختلفة من أمطار ورياح وتغير في درجات الحرارة ، وقد بدأ نشاط الإنسان يلعب دوراً متزايداً فيما يعترض سطح الأرض من تغيرات .

شكل (٢) نموذج لباطن الأرض يوضح الطبقات المختلفة من السطح وحتى المركز .

درجة الحرارة (K) الضغط 10^{10} نيوتن/م² الكثافة (كجم/م³)

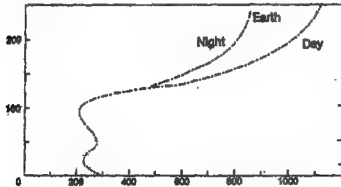


شكل (١) تغير العوامل الفيزيائية داخل الأرض مع البعد عن سطحها

٥ - ٤ - ٢ - الغلاف الجوى :

يتكون الغلاف الجوى للأرض من ٤ طبقات أساسية هى التروبوسفير ويمتد لارتفاع ٨ - ١٠ كم وتنقص درجة الحرارة فيه بمعدل ٦ / كم . وهذه الطبقة تحتوى كل تغيرات الطقس وتقلباته . والسطح الذى يحدد التروبوسفير يسمى التروبوبوز ، وارتفاع التروبوبوز يتغير وهو يقل فوق القطبين ويزيد فوق خط الاستواء ، حيث يمكن أن يصل إلى ١٨ كم . وتعود ظواهر الطقس المختلفة فى هذه الطبقة من رياح وسحب وأمطار وأعاصير وغيرها إلى ٣ عوامل رئيسية هى التفاضلات فى الحرارة بين المناطق المختلفة مع حركة الشمس بين المدارين ، ودوران الأرض حول محورها وما يحدثه من تحرك للرياح وكذلك اختلاف درجات الحرارة بين البحر واليابسة . ويلي التروبوسفير طبقة الاستراتوسفير التى تمتد حتى حوالى ٦٠ كم ، وفى هذه الطبقة تثبت درجة الحرارة أولاً ثم تبدأ فى الازدياد ، ونظراً لبداية تكون غاز الأوزون الذى يتكون بين ٢٠ و ٢٥ كم، ثم تبدأ درجة الحرارة فى النقصان فى الطبقة التالية وهى طبقة الميزوسفير التى تمتد حتى ٨٥ كم ، يليها الترموسفير وفيه تزداد درجة الحرارة بصفة مستمرة . وتسمى المنطقة ما بعد حوالى ٤٠٠ كم الإكسوسفير حيث يصبح الهواء فى درجة تخلخل كبيرة تسمح لنسبة كبيرة من جزيئاته المتجهة لأعلى بسرعة أكبر من سرعة الهروب بالإفلات من جذب الأرض .

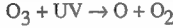
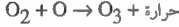
وبدءاً من الميزوسفير يوجد كم كبير من الشحنات الحرة فيما يسمى الأيونوسفير ، وهو يمتد فى الإكسوسفير حتى ارتفاع حوالى ٥٠٠ كم . ويتكون الغلاف الهوائى فى طبقته السفلى من حوالى ٧٧ ٪ نيتروجين ، ٢١ ٪ أكسجين وكميات قليلة من بخار الماء وثنائى أكسيد الكربون والغازات الخاملة .



شكل (٤) درجة الحرارة كدالة فى الارتفاع فى جو الأرض

وبالارتفاع فى الجو تتواجد كميات قليلة من الأكسجين فى صورة ذرية ومن الأوزون .

يتكون الأوزون وتحلل بإتزان بين التفاعلين .



ومن التفاعل الثانى يتضح أن الأوزون يمتص كميات كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية (UV) فيحمى الأرض من آثارها شديدة الضرر حيث تسبب سرطان الجلد والمياه البيضاء ونقص المناعة كما تسبب زيادتها أضراراً بالمحاصيل الزراعية . وقد لوحظ بين سنتى ١٩٧٧ و ١٩٨٤ نقص كميات الأوزون فوق القارة المتجمدة بنسبة تصل ٤٠ ٪ فيما سمي بثقب الأوزون ، وما زال هذا التناقص مستمرًا وقد عزى هذا النقص إلى التوسع فى استخدام غاز الفريون (كلورو فلوريد الكربون) وهو غاز يسهل تحرر إحدى ذرات الكلور التى يشتمل عليها ، وهذه الذرة الواحدة قادرة على تحطيم ١٠٠٠٠ جزيء من غاز الأوزون . كذلك ساعد على اضمحلال طبقة الأوزون غاز أكسيد النيتريك الذى ينطلق من الطائرات النفاثة . وقد فسر تركز ما سمي بثقب الأوزون فوق القارة المتجمدة الجنوبية بأنه فى أشهر سبتمبر وأكتوبر ونوفمبر تكون هذه المنطقة معزولة هوائياً فتسودها خلال تلك الفترة رياح تدور حول القطب الجنوبي . وكذلك تتكون سحب تعوق عمل المواد التى تقلل من تأثير الكلور مثل غاز ثانى أكسيد النيتروجين .

تطور الغلاف الهوائى :

مع تنامي الحياة على الأرض حدثت عليها تطورات كثيرة معقدة ؛ ولذلك مرت الأرض بعصور جيولوجية مختلفة . ومع تطور الأرض تطورت غلافها الجوى . ففى مرحلة نشطة فى تطور الشمس بينما كانت حرارة الأرض شديدة الارتفاع ، هرب جوها الأصبلى ، أما جوها الحالى فهو نتاج غازات انسابت من باطن الأرض بواسطة البراكين والعيون الفوارة وغيرها ، وقد تكونت هذه الغازات بصفة أساسية من ثانى أكسيد الكربون والنيتروجين وبخار الماء وقليل من الغازات الخاملة . وقد هاجمت كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون صخور السطح

وتفاعلت معها مكونة للحجر الجيري الوفير على الأرض . ومنذ حوالي ١٠٠٠ مليون سنة بدأت الحياة النباتية على الأرض وبدأت معها عملية التمثيل الضوئي وما يصاحبها من إمداد الجو بالأكسجين .

وتشير الدراسات إلى أنه كان يمثل نسبة ١ ٪ فقط من الغلاف الهوائي منذ حوالي ٦٠٠ مليون سنة . وإذا توقفت عملية التمثيل الضوئي ينفذ الأكسجين الجوي بعمليات الاحتراق والتنفس والتحلل خلال ما يقرب من ١٠٠٠ سنة ، وقد يسرع إحراق الفحم والبتروك بهذا المعدل ، ولكن الكميات المتاحة من كليهما سوف تنفذ أسرع كثيراً من الأكسجين .

٥-٤-٣ المجال المغناطيسي :

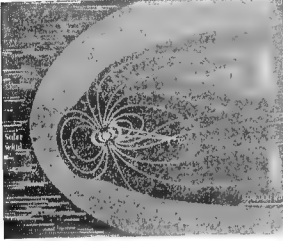
للأرض مجال مغناطيسي شدته حوالي ٣ جاوس ، ينطبق قطباه تقريباً على قطبي الأرض الشمالي والجنوبي . وقد نشأ عن وجود اللب المنصهر مما يساعد على وجود شحنات حرة تتوزع مع دوران الأرض بحيث تحدث مجالاً مغناطيسياً . والمجال المغناطيسي يحمي الأرض من الجسيمات المشحونة ، وخاصة الرياح الشمسية ، حيث تحملها خطوط القوى المغناطيسية إلى منطقة القطبين حيث تحدث تفريغاً كهربائياً نشأ عنه ظاهرة الشفق القطبي التي لا توجد في بقية المناطق حيث توجد الشحنات على ارتفاعات كبيرة .

٥-٤-٤ أحزمة فان ألن المشعة :

هي مناطق تحيط بالأرض مأهولة بكميات كبيرة من الجسيمات المشحونة ، اكتشف هذه المناطق « جيمس ألفريد فان ألن » وزملاؤه خلال أبحاث أجروها باستخدام عدادات جيغر محملة على الأقمار الصناعية الأمريكية الأولى «المستكشف» I ، III ، IV ، التي أطلقت سنة ١٩٥٨ والطريف أن الهدف من وضع تلك العدادات كان الكشف عن الأشعة الكونية .

كانت العدادات تعمل بصورة طبيعية حتى ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كم حيث بدأت تعمل بعنف ، وتأكدت تلك المعلومات بعد ذلك باستخدام مركبة الفضاء «بيونير» III التي أطلقت في ٦ ديسمبر سنة ١٩٥٨ م وكذلك باستخدام المركبة الروسية «ليونيك» التي أطلقت في ٢ يناير سنة ١٩٥٩ م .

وتتكون أحزمة فان ألن من حزامين متراكزين (مشتركين في المركز)
تحتوى على إلكترونات وبروتونات وبطاقات عالية جدًا اقتنصها المجال المغناطيسى
الأرضى ، ووجهتها خطوط القوى المغناطيسية لهذا المجال للتجمع فى تلك
الأحزمة (شكل ٥) .



شكل (٥) رسم توضيحي لأحزمة فان ألن الإشعاعية
التي تحيط بالأرض

ويتغير عدد الشحنات
وطاقتها مع النشاط
الشمسى ، ويقع
أقصى تركيز للحزام
على ارتفاع حوالى
٣٠٠٠ كم ، بينما
يقع الحزام الثانى
وهو أقل فى الطاقة

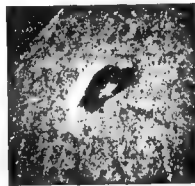
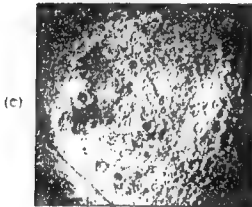
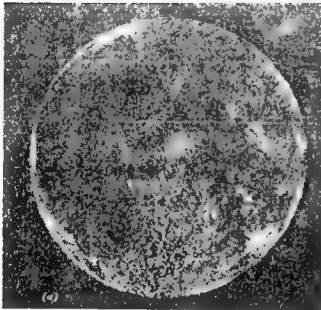
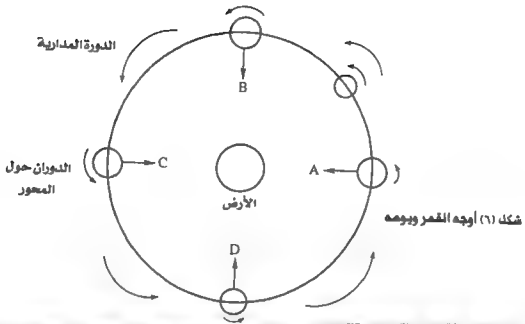
على ارتفاع حوالى ١٦٠٠٠ كم .

٥-٥ القمر:

القمر ربيب الأرض يتبعها من الغرب إلى الشرق فى مدار إهليلجى يقترب
فيه من الأرض حتى يكون منها على بعد ٣٥٦٤٠٠ كم ، ثم يبتعد فلا ينأى
بأكثر من ٤٠٦٧٠٠ كم ، وقد قيس بعده بدقة لا تتعدى عدة سنتيمترات
باستخدام عاكسات لاشعة الليزر وضعها عليه رواد مركبات الفضاء أبوللو فى سنة
١٩٦٩ م وهو من أكبر أقمار المجموعة الشمسية وجدول (٢) يوجز بعض
المعلومات عن القمر لتسهيل مقارنة باقى أقمار المجموعة الشمسية به :

يوم القمر:

إذا داومت على تفحص سطح القمر ستجده دائماً يرينا وجهاً واحداً لا يتغير
ولا يتبدل ؛ وسبب هذا أن القمر يدور حول نفسه بنفس معدل دورانه حول
الأرض بالنسبة للنجوم فيكمل دورة حول الأرض فى ٢٧,٣ يوم ، وما أن تكتمل
تلك الدورة حتى يكون قد أكمل دورة حول محوره . ومثل تلك الدورات



شك (٧)

(a) نصف القمر المواجه للأرض وهو يحدّر ، كما يبدو من خلال المناظير . يلاحظ أن الأماكن المنخفضة أكثر كثافة .

(b) صورة مقربة للنصف غير المرئي ، المنطقة المعتمة عند المركز

(c) النصف غير المرئي (مركبة أبولو ١٦) .

(d) صورة مغلّمة التقاطت حوالي ٦٠ كم (ثلاثاً) .

جدول (٢) معلومات فيزيائية عن القمر

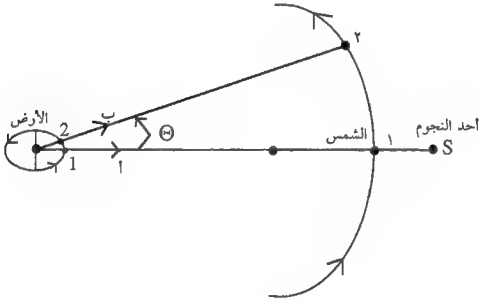
ملاحظات	الخاصية
أكبر قليلاً من بلوتو	الكتلة = ١ : ٨١,٣ من كتلة الأرض . الحجم = ١ : ٥٠ من حجم الأرض نصف القطر : ٢٧ : ١٠٠ من نصف قطر الأرض
بذلك تكون الأوزان عليه صغيرة ومستواها بطيء .	عجلة الجاذبية عن سطح = ١,٦٥ متر / ث ^٢ ($\frac{1}{4}$ مثيلتها على الأرض) .
على الأرض ١١,٩ وعلى الشمس ٦١٨ لا يمكن الاسترشاد بالبوصلية	سرعة الهروب = ٢,٣٨ كم / ث . المجال المغناطيسي = ١ : ١٠ مليون من مجال الأرض .
متساويان	ميل المدار على دائرة البروج = ٥° . طول اليوم = ٢٧,٣ يوم أرضي . الشهر النجمي = ٢٧,٣ يوم أرضي .

المرتبطة تسمى « دورة متزامنة » . وشكل (٦) يوضح تأثير هذا التزامن على ما تراه الأرض من سطح ربيها القمر وكذلك على ما يبدو لها مضيئاً من وجهه .

وبسبب دورة القمر المتزامنة لم نعرف شيئاً عن وجهه الآخر المخفى عن الأرض قبل أن تدور حوله سفن الفضاء وتقوم بتصويره ، عندئذ تبين أنه يختلف كثيراً عن الوجه الذي نرى ، وأنه يكاد يكون مغطى تماماً بالحفر والفوهات (شكل ٧) وكذلك أمكن لهذه المركبات تصوير المناطق القطبية للقمر .

ولو وقفنا على نصف القمر المواجه للأرض فإننا نراها طوال ليلنا القمري لأكثر من أسبوعين ، فهي بالنسبة لهذا النصف لا تشرق ولا تغرب ، فهي في حالة شروق دائم عليه ، كما أنها في حالة غروب دائم عن نصفه الآخر .

أما بالنسبة للشمس فلا يخفى القمر أى جزء من سطحه عنها إلا أن طول اليوم القمري بالنسبة للشمس أطول من طول به بالنسبة للنجوم ، وهذا يتضح من شكل (٨) .



شكل (٨) يوم القمر (بالنسبة للشمس)

فإذا كان القمر عند النقطة ١ فى مداره ، وجزؤه المواجه للشمس معرف بالسهم أ المتجه ناحية الشمس وفى نفس الوقت ناحية أحد النجوم (S) ، ثم دار القمر فى مداره ليعود لنفس النقطة أ ، خلال تلك الدورة يكون القمر قد أكمل دورة حول محوره ، وبذلك يعود السهم أ لنفس اتجاهه ، ويكون القمر قد أكمل دورة فى مداره وفى نفس الوقت دورة حول نفسه بالنسبة للنجم (S) ، ولكن الشمس خلال تلك الفترة تتحرك للموضع ٢ وبذلك يحتاج القمر للتحرك فى مداره (وفى نفس الوقت حول محوره) بالزاوية ☉ ليكمل دورة بالنسبة للشمس حيث يتطابق السهم فى تلك الحالة على الوضع ب . فلذلك فإن :

طول اليوم القمري النجمي = طول الشهر القمري النجمي

$$= ٢٧,٣٢ \text{ يومًا}$$

طول اليوم القمري للشمس = طول الشهر القمري الافتراضي

$$= ٢٩,٥٣ \text{ يومًا}$$

وطول يوم القمر وكذلك طول الشهر القمري ليسا ثابتين ، فالقمر يتعد عن الأرض باضطراد ، وكان في أقرب أوضاعه منها منذ ١٠٠٠ مليون سنة ، في تلك الحقبة كان طول الشهر ٦ ساعات ونصف فقط ، بينما كان طول اليوم ٥ ساعات وكان بعد القمر آنذاك لا يتعدى ١٨٠٠٠ كم ، وبذلك كان يغطي ١١ من السماء وهو ما يزيد ٢٢ ضعفًا مقدار قطره الحالي ، بل وحتى عهد قريب لا يتعدى ٣٧٥ مليون سنة كان بعد القمر عن الأرض لا يزيد عن نصف بعده الحالي .

أوجه القمر والأشهر القمرية :

يتحرك القمر في مداره حول الأرض ليكمل دورة بالنسبة للنجوم في حوالي ٢٧,٣٢ يومًا ، أى أنه يتحرك حوالى ١٣,١٧٧° كل يوم . بينما تتحرك الشمس في مدارها الظاهري حول الأرض بمعدل ٠,٩٨٦° كل يوم وبذلك يتحرك القمر ١٢,١٩١° في اليوم بالنسبة للشمس ليكمل دورة كل ٢٩,٥٣ يومًا وهى ما تسمى بالشهر الاقترانى ، وهذه الفترة الأخيرة هى طول الشهر العربى أو الهجرى .

ويشترط لبداية الشهر الهجرى فلكيًا شرطان ، أولهما : أن يتم الاقتران بين الشمس والقمر والأرض (أى يتساوى الطول السماوى لكل من الشمس والقمر) وتسمى هذه اللحظة بلحظة ميلاد الهلال الجديد ، أما الشرط الثانى : فهو أن يغرب القمر (فى يوم مولده) بعد الشمس . فإذا تحقق هذان الشرطان كان اليوم التالى (فلكيًا) هو بداية الشهر العربى الجديد . أما من الناحية الشرعية فثبوت رؤية الهلال بعد غروب الشمس شرط أساسى ، ولكى يتيسر ذلك لابد أن يمكث الهلال الوليد فوق الأفق فترة كافية بعد غروب الشمس ، وأن يكون الأفق صافيًا . ويساعد على تحقق الرؤية أن يكون الفرق فى الزاوية السمتية بين الشمس والقمر كبيراً بدرجة كافية .

وكما سبق أن أوضحنا فإن القمر يدور حول نفسه دورة كاملة بالنسبة للشمس خلال الشهر الاقتراني ، وبذلك يتغير الجزء المضيء منه ، وبالتالي الجزء المرئي من على سطح الأرض حسب وضع القمر بالنسبة للشمس وللأرض (شكل ٦) فيكون في الشهر هلالاً ثم تربيعاً أول ثم بدرًا ثم تربيعاً ثانياً (اومحافاً) ثم يعيد دورته من جديد .

منازل القمر:

كما ذكرنا فإن القمر يتحرك حوالى ١٣° كل يوم ، فيرى وسط مجموعة من النجوم تختلف عن تلك التى كانت تحيطه فى اليوم السابق .

وقد سمي العرب الأقدمون مجموعات النجوم تلك التى تستضيف القمر كل ليلة ، أثناء تجواله الدءوب حول الأرض ، منازل القمر وعددها ٢٨ منزلاً . فإذا قارنا هذه المنازل بالأبراج نجد كل برج يضم حوالى $\frac{1}{3}$ منزلاً .

الظروف الفيزيائية على القمر:

ليس للقمر غلاف هوائى بسبب قربه من الأرض مع ضعف جاذبيته والارتفاع الكبير فى درجات الحرارة عليه أثناء النهار . ولا يزيد قدر الغازات التى قد تتراكم منسابة من باطنه فى أى وقت عن جزء من المليون من كتلة جو الأرض . كذلك لا يوجد على القمر ماء سائل ولا ثلوج ولم يجد رواد الفضاء الذين هبطوا على القمر أثراً لمياه جوفية تحت سطحه ، ولكن الصخور جلبوها لتحليلها على الأرض ثبت احتواؤها على الماء فى تركيبها الكيميائى ، وكان رواد الفضاء على سفن أبوللو الأمريكية قد جلبوا ٢٠٠٠ عينة كتلتها ٣٨٢ كجم ، بينما جلبت سفن لونا السوفيتية ٣١٠ كجم .

تبعاً لذلك ليس على القمر طقس ، فلا سحب ولا رياح ولا صقيع ولا ضياء . وبالتالي لا توجد على القمر عوامل تعرية مما يجعل تركيباته تحتفظ بصورتها الأصلية لفترات طويلة فنجد الصخور التى تكونت من آلاف الملايين من السنين جنباً إلى جنب مع تلك التى تكونت حديثاً ، ولذلك يقال أن تاريخ القمر مدون فوق سطحه .

ونظراً لعدم وجود غلاف هوائى أو محيطات تهدئ من تفاوت درجات الحرارة ، فإنها تتغير بحدّة بين النهار والليل ، فترتفع أثناء النهار لأكثر من درجة

غليان الماء (١٠٠) ، ثم تهبط بحدّة أثناء الليل لتصل إلى حوالي ١٧٠ تحت الصفر . وقد قيس معدل هبوط درجة الحرارة على سطح القمر أثناء الكسوف فوجد أنها تهبط بمعدل ١٥٠ كل ساعة كذلك فإن عدم وجود لب منصهر تسبب في عدم وجود مجال مغناطيسي للقمر يمكن قياسه .

سطح القمر وباطنه :

يستطيع الإنسان أن يرى بعينه المجردة كثيراً من المناطق المعتمّة والمضيئة على سطح القمر . فإذا ما استعان بمنظار اكتشف أن المناطق المعتمّة تشبه السهول المنبسطة على سطح الأرض ، ولذا حسبها الأقدمون مسطحات مائية كبيرة وأسموها بالبحار . أما المناطق المضيئة فإنها أكثر وعورة . ويرى في بعض ما يسمى بالبحار فوهات أو قمم جبال منفصلة ، وتمتد هذه المناطق المسماة بالبحار مسافات كبيرة تصل ما بين ٢٥٠ و ٨٠٠ كم وتحيط بها سلاسل من الجبال . والجبال على القمر توجد إما منفصلة وإما في سلاسل يسمى بعضها بأسماء تاريخية أو بأسماء بعض العلماء . وتختلف ارتفاعات جبال القمر كما هو الحال على الأرض وتصل ارتفاعاتها عدة كيلومترات ، وتقاس هذه الارتفاعات عادة بما تلقى المرتفعات من ظلال على سطح القمر .

أما فوهات القمر فتشبه إلى حد كبير الفوهات البركانية على سطح الأرض ويوجد منها آلاف عديدة يتراوح اتساعها بين عشرات الأمتار ومئات الكيلو مترات . وهى أكثر كثافة فى الوجه البعيد عن الأرض . ويعزى وجود أعداد كبيرة فى تلك الفوهات إلى سقوط أعداد كبيرة من الأجسام النيزكية وعدم وجود جو للقمر يخفف من تأثيرها . ويقدر عمر أقدم صخور القمر بحوالى ٤٦٠٠٠ مليون سنة وهو عمر المجموعة الشمسية . ويمكن إيجاز أهم ملامح السطح فيما يلى :

- ١ - منخفضات من صخور نارية داكنة نسبة لما حولها .
- ٢ - فوهات تتراوح ما بين مئات الكيلو مترات إلى حفر صغيرة جداً .
- ٣ - جبال بعضها أعلى من جبال الأرض .
- ٤ - وديان من مواد بركانية تكونت أثناء فترات قديمة نشطة جيولوجيا من عمر القمر .

أما من الناحية الجيولوجية فإن القمر خامل جيولوجيا وأشد الأنشطة الزلزالية عليه السى أمكن لسفن أبولو قياسها حدثت على عمق ٨٠٠ كم تحت السطح . وتتركز العناصر الثقيلة عند مركز القمر مما يدل على أنه كان منصهرًا في مرحلة سابقة . ويحيط الشك بدرجة كبيرة في وجود لب للقمر ، وإن وُجد فهو صلب ولا يحتوى على أى مادة منصهرة ، لذلك فالأرجح أن للقمر وشاحا وقشرة خارجية صلبة مع عدم وجود لب . والجزء المواجه للأرض من القشرة أعلى في الكثافة وأقل في السمك (حوالى ٥٠ كم بينما يصل سمك الجزء البعيد إلى ١٦٠ كم) .

نشأة القمر:

هناك ثلاثة احتمالات لنشأة القمر :

١ - إما أنه نشأ بالقرب من الأرض كجسم منفصل مع نشأة المجموعة الشمسية .

٢ - أو انفصل عن الأرض ونتج المحيط الهادى عن هذا الانفصال .

٣ - أو نشأ فى مكان آخر ثم اقتنصته الأرض .

إلا أن الاحتمال الثانى مرفوض الآن لأسباب منها أن عمر المحيط الهادى قدر بحوالى ٢٠٠ مليون سنة فقط وتشير الدلائل لتكونه كنتيجة لزحف القارات ، كما أن تركيب تربة القمر يختلف عن تركيب تربة الأرض . لذا فإن المعتقد أن القمر نشأ مع باقى أفراد أسرة الشمس مثله مثل باقى الكواكب .

٥-٦ الكواكب الأرضية :

٥-٦-١ عطارد :

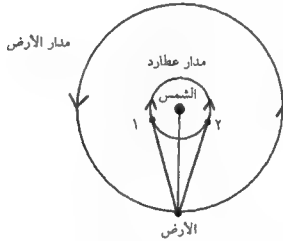
هو أقرب الكواكب للشمس ببعد متوسطه ٣٨٧ وحدة فلكية وهو يدور حولها مكملًا دورة بالنسبة للنجوم كل ٨٧,٩٧ يوما فى مدار إهليلجى استطالته كبيرة حتى إن وجهه يبعد عن الشمس مرة ونصف قدر بعد حضيفه . ويميل مستوى هذا المدار ٧ درجات على مستوى البروج . ويدور عطارد حول محوره مكملًا دورة بالنسبة للنجوم كل ٥٨,٦٥ يوما ، أى حوالى طول دورته حول الشمس . وبذلك يكون طول اليوم الشمسى على عطارد حوالى ١٧٦ يومًا .

ويميل محور دوران الكوكب حول نفسه بحوالى 28° على محور المدار . وعطارد هو ثاني الكواكب صغراً ، فقطره حوالى 4900 كم أى أنه أكبر من قطر القمر فقط بحوالى 40% . أما كتلته فحوالى 0.6 ، من كتلة الأرض . وبذلك فجاذبيته عند سطحه 38 ، من تلك التى على سطح الأرض .

المشاهدة وملامح السطح :

يتسبب قرب عطارد من الشمس فى خلق صعوبات شديدة فى دراسة سطحه من على سطح الأرض . فأقصى بعده الزاوى عن الشمس لا يتعدى 28° ولذلك لا يمكن مشاهدته إلا خلال ساعتين بعد غروب الشمس أو قبل شروقها .

وتضاريس سطح عطارد تشبه لدرجة كبيرة تضاريس سطح القمر فيما عدا الندرة الواضحة فى عدد السحفر ؛ وذلك لقربه من الشمس وبعده عن منطقة الكويكبات وكذلك صلابه سطحه . وأهم ما يميز تلك التضاريس وجود منحدرات عالية شديدة الميل .



شكل (٩) أقصى زاوية بين اتجاه عطارد والشمس

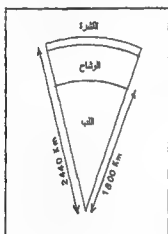
الغلاف الجوى ودرجات الحرارة :

ليس لعطارد غلاف جوى خاص به ، وذلك لقربه الشديد من الشمس مع صغر كتلته ، فهو لا يستطيع الاحتفاظ بأى غازات تنساب من داخله لأكثر من أسبوع . ولا يوجد الماء فوق عطارد فى أى صورة .

وكتسجة لعدم وجود غلاف جوى أو مياه تنساب على السطح ، تتفاوت درجات الحرارة بدرجة شديدة بين الليل والنهار ، فترتفع أثناء النهار حتى تصل ٧٠٠ درجة مطلقاً ثم تقل عند غروب الشمس إلى حوالى ٤٢٥ تنحدر أثناء الليل إلى ١٠٠ مطلقاً.

باطن الكوكب ومجاله المغناطيسى :

ليس لكوكب عطارد أى نشاط جيولوجى ، وله لب كبير لا يتناسب مع حجمه حيث يمتد لمسافة ١٨٠٠ كم من المركز. وهو بذلك يصل لحجم القمر ، وهو يتكون أساساً من الحديد والنيكل ثم وشاح صخرى وقشرة خارجية تصلبت بسرعة (شكل ١٠) .



أما المجال المغناطيسى فشده حوالى $\frac{1}{100}$ من مجال الأرض ، وهو يعتبر كبيراً لعدم وجود لب منصهر ولبطء دوران الكوكب حول محوره .

شكل (١٠) التركيب الداخلى لكوكب عطارد

حركة الحضيض :

أظهرت نتائج الأرصاد أن حضيض مدار عطارد يدور شرقاً بزاوية ٤٣° كل قرن . وهذا القدر لا يمكن تفسيره باستخدام قوانين نيوتن ، ولزم لإيجاد تفسير رياضى له الاستعانة بنظرية النسبية العامة لأينشتين .

٥-٦-٢ الزهرة :

آلهة الحب والجمال عند الإغريق والبابليين ، وأبهى أجرام السماء فهى تسطع فور غروب الشمس قبل أن يأفل ضوء شفق المساء ، كما تلمع قبل شروقها حتى بعد أن يبدأ شفق الصباح فى التبشير بقرب شروق شمس يوم جديد . إنها ألمع الأجرام بعد الشمس والقمر ، كما أنها تبدو لنا بوجوه متنوعة تحاكي بها أوجه

القمر ، ويأتي بهاء الزهرة من غطاء السحب التي تكسوها فيعكس للفضاء أكثر من ٧٥ ٪ ، مما يسقط عليها من ضوء الشمس . وتشارك الزهرة عطارداً في عدم وجود أقمار تدور حول أيهما .

ومدار الزهرة حول الشمس يميل $3,39^\circ$ على مستوى الكسوف وهو أقرب مدارات الكواكب للدائرة وهي تكمل دورة كل $224,7$ يوماً بينما تكمل حول محورها دورة كل $243,01$ يوماً ، ويميل هذا المحور على محور المدار بزاوية $177,4^\circ$. ولذا فدوران الكوكب حول نفسه تراجعي (أي من الشرق إلى الغرب) ويتبع عن هذا أن الشمس تشرق على الزهرة من الغرب وتغرب من الشرق وطول اليوم الشمسي حوالي 117 يوماً من أيام الأرض .

والزهرة أقرب الكواكب للأرض حجماً ، فقطرها 12100 كم وهي بذلك أصغر من الأرض 5% فقط ، أما كتلتها فهي 815 ومثل كتلة الأرض . وعند الاقتران السفلى تقترب الزهرة لحوالي 42 مليون كيلو متر من الأرض . أما الجاذبية عند سطحها فتبلغ 91 ٪ قدر جاذبية الأرض .

المشاهدة وملامح السطح :

أقصى زاوية استطالة للزهرة (الزاوية : الزهرة - الأرض - الشمس) 47° ، لذلك لا يمكن رؤيتها إلا خلال 3 ساعات بعد غروب الشمس أو قبل شروقها ، لكنها تُرى أحياناً حتى بعد شروق الشمس .

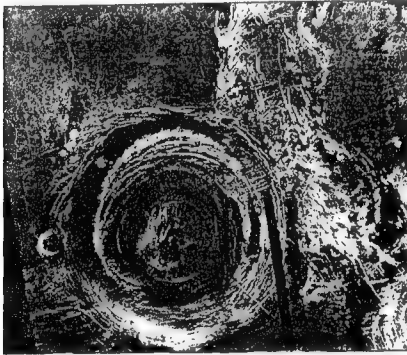
وكثافة الغلاف الهوائي والسحب التي تحيط بالكوكب تجعل رؤية سطح الزهرة باستخدام المناظير البصرية أمراً شديداً التعقيد .

وقد أوضحت الأرصاد الرادارية وسفن الفضاء وجود أخاديد وجبال وفوهات وبراكين وتركيبات بركانية أخرى (شكل ١١) .

وبعكس الأرض تنتشر الملامح البركانية بانتظام على الزهرة . ولا توجد أدلة على تحركات كبيرة للقشرة . وإن كانت توجد تشوهات محلية ، ومن غير المفهوم أن الفوهات الناتجة من تصادمات مع السطح تحتفظ بهيئتها دون تشويه . وقد اكتشفت منطقتان ممتدتان من المرتفعات ، إحداهما (وتسمى

أفروديت (بالقرب من خط الاستواء وتقارب مساحتها مساحة أمريكا الجنوبية ،
والأخرى قارة (تسمى عشتار) تقع عند خط عرض ٧٠ شمالاً ويقع فيها أعلى
جبال الزهرة الذي يبلغ ارتفاعه ١٢ كم .

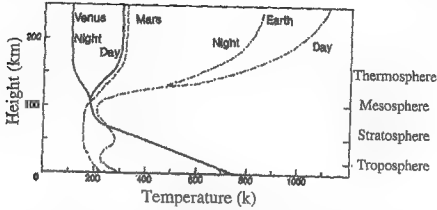
ويمكن تقسيم السطح بصورة عامة إلى منخفضات بها حفر كبيرة تمثل ٦ ٪
من السطح ، وأخرى عادية وتمثل ٢٧ ٪ من السطح ، بالإضافة لمرتفعات تمثل
حوالي ٨ ٪ من السطح .



شكل (٨١) أحد براكين الزهرة غير المعتادة والتي تكون
قد نشأت من انسياب الحارة من باطن الكوكب

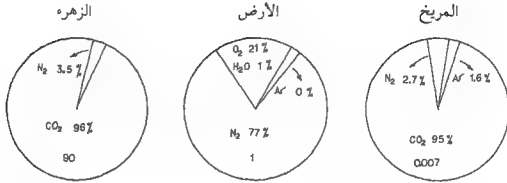
الغلاف الجوى ودرجات الحرارة :

للزهرة غلاف جوى كثيف ضغطه عند السطح يعادل ٩٠ جو مكوناته ٩٦ ٪
ثاني أكسيد الكربون ، ٣,٥ ٪ نيتروجين وغازات خاملة بكميات قليلة ، وهذا
الغلاف الجوى جاف بدرجة كبيرة حيث لا يمكن التعرف على بخار الماء بين
مكوناته ، ويقدر حده الأقصى بواحد من المليون من كميته فى جو الأرض .
وأحد التغيرات لذلك أن بخار الماء تحلل فى طبقات الجو العليا بتأثير الأشعة



تغير درجة الحرارة مع الارتفاع في أجواء كل من الزهرة والأرض والمريخ

فوق البنفسجية ثم هرب الهيدروجين لفضاء ما بين الكواكب . كذلك أوضحت أرصاد سفن الفضاء مارينر (سنة ١٩٦٢) وفينيرا ٩ ، ١٠ (سنة ١٩٧٥) وجود حامض الكبريتيك كمكون أساسي للسحب مما يساعد على وجود أمطار حمضية واحتمال وجود ما يشبه الأنهار من الصخور المنصهرة . وكنتيجة لهذا الجو الكثيف لا يصل لسطح الكوكب غير ١ ٪ من ضوء الشمس الساقط عليه ، ومدى الرؤية بذلك لا يتعدى كيلومترات قليلة ، ويقل لسعدة مئات من الأمتار خلال السحب . والسحب في الزهرة توجد على ارتفاعات ما بين ٤٨ ، ٦٠ كم تعلوها طبقات تشبه الضباب تكون السطح المرئي للكوكب . كذلك تتسبب كثافة الغلاف الجوي وغلبة ثاني أكسيد الكربون على تركيبه في زيادة ظاهرة البيت الزجاجي وتحكمها في حرارة السطح فترفعها لتصل لحوالي ٧٥٠ مطلقاً (حوالى ٤٨٠ مئوية) . وكذلك في الإقلال بدرجة كبيرة من تغيرها بين الليل والنهار ومن منطقة لأخرى على الكوكب . لكنها تهبط عند قمة السحب إلى حوالى ٢٤٠ مطلقاً ، وقد أدى عدم وجود تفاوت كبير في درجات الحرارة بين أنحاء الكوكب والبطء الشديد في دوران الزهرة حول محورها لعدم وجود دورات للرياح ، ولذا تبدو السحب ساكنة فيما عدا حركات صغيرة رأسية تنعدم قرب السطح ، وأقرب من المنطقة المواجهة للشمس تجاه القطبين وإن كانت حركات ضعيفة بدرجة ملحوظة . أما السحب العليا فتتحرك بسرعة وتدور حول الكوكب في حوالى ٤ أيام مدفوعة برياح قوية تحركها الشمس .



شكل (٧٢) الوفرة النسبية للغازات الأساسية المكونة لجواء كل من المريخ والأرض والزهرة

باطن الزهرة ومجالها المغناطيسي :

يتشابه التركيب الجيولوجي للزهرة كثيراً مع نظيره على الأرض ، وتوجد براكين عديدة وظواهر توحى بوجود نشاط بركاني مثل التغير في كميات ثاني أكسيد الكبريت وهو غاز معروف بأن له أصلاً بركانياً .

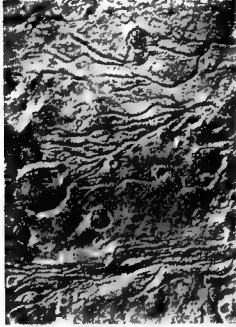
وللزهرة لب معدني صغير (قد يكون من الحديد والنيكل) وشاح صخري وقشرة . وجزء من السلب في حالة سائلة مما يمكن أن يساعد على وجود مجال مغناطيسي كبير . إلا أن البطء الشديد لدوران الزهرة حول محورها حال دون وجود مثل هذا المجال ، وقد أدى هذا لسهولة وصول الرياح الشمسية حتى قرب السطح محدثة شفقاً قوياً قد يصل للأماكن المظلمة .

٥-٦-٣ المريخ :

المريخ هو رابع أسرة الشمس فهو يلي الأرض ببعده متوسط عن الشمس مقداره ٢٢٧,٥٠٠,٠٠٠ من الكيلومترات أو ما يقرب من مرة ونصف قدر متوسط بعد الأرض عنها .

وللمريخ مع اهتمام الناس تاريخ قديم حيث جذب لونه المائل للاحمرار نظر الأقدمين فاعتبروه رمزاً ومؤشراً للحروب وكوارث الطبيعة ، أما في عصرنا الحديث فقد عقد علماء الفلك الآمال الكبار على احتمالات وجود حياة على هذا

الكوكب ظنوها في وقت من الأوقات يقيناً .



شكل (١٣) بعض تفصيلات نصف الكرة الجنوبي للمريخ حيث يُرى الضباب عند الأفق

والمريخ كوكب صغير لا تزيد كتلته كثيراً عن عشر كتلة الأرض وهو في مداره حول الشمس ينأى عن الأرض ويقترّب لمسافات تتراوح ما بين .

٣٩٦,٨٠٠,٠٠٠

إلى ٥٥,٣٦٠,٠٠٠ من الكيلومترات ، وهو في دورانه حول

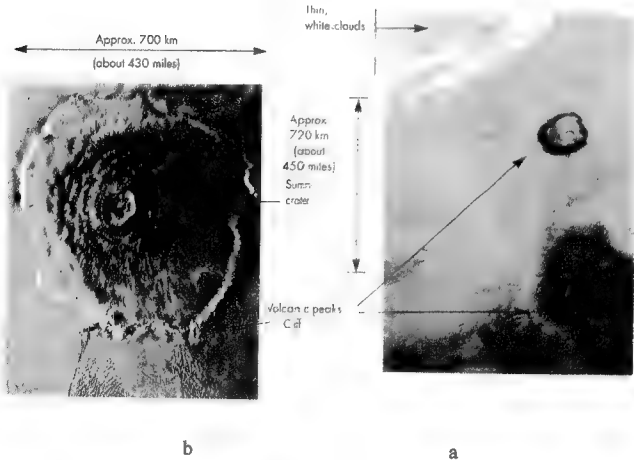
الشمس يكمل سنة في حوالي ٦٨٧ يوماً أرضياً ، فلو أن زائراً من الأرض هبط على المريخ في سنة ٢٠٠٠ وعمره ٣٠ سنة ثم عاد إلى الأرض بعد ٣٠ سنة مريخية فإنه سيجد أقرانه قد جاوزوا السادسة والثمانين حيث تكون الأرض حينئذ في سنة ٢٠٥٦ . أما دورة المريخ حول محوره ، أي اليوم المريخي فيزيد قليلاً على ٣٧ دقيقة ٢٤ ساعة .

الملاحع الأساسية لسطح المريخ (كما ترى من على الأرض) :

١ - مناطق صفراء زاهية يميل لونها للاحمرار تكون حوالى ثلثي مساحة السطح ، وقد كان يظن أنها المناطق الصحراوية على الكوكب .

٢ - مناطق صفراء زاهية يميل لونها للاحمرار تكون حوالى ثلثي مساحة السطح ، وقد كان يظن أنها المناطق الصحراوية على الكوكب .

٢ - مناطق داكنة يميل لونها للاخضرار تغطي حوالي ثلث مساحة الكوكب ويزداد تواجدها في نصف الكرة الجنوبي . ويعتري هذه المناطق موجة من الدكانة تبدأ من القطب في اتجاه خط الاستواء خلال فصل الربيع والصيف بمعدل حوالي ٣٠ كم / اليوم ثم تتعدى خط الاستواء لتصل حتى خط عرض ٢٢ تقريباً في نصف الكرة الآخر . وقد ساد لفترة طويلة مفهوم أن تلك مناطق مزروعة ، وأن هذه الموجة من الدكانة ما هي إلا نباتات تنمو في فصلي الربيع والصيف نتيجة لانصهار الجليد عند القطب ثم سريان الماء وزحف الخضرة والنماء في اتجاه خط الاستواء



شكل (١٤) (أ) أشكال متنوعة حول أحد الحفر مما يشير لوجود الماء قديماً على سطح المريخ
(ب) بركان « أولمبوس فونس » أحد أكبر براكيت المجموعة الشمسية

٣ - شبكة من الخطوط المتشابكة أشبه ما تكون بشبكات الرى على الأرض، تنتشر فى المناطق الصحراوية ، ذات لون وتغيرات موسمية مماثلة للمناطق الداكنة ، وقد اكتشف هذه الخطوط الفلكى الإيطالى « شيباريللى » فى أواخر القرن الماضى وأسمائها بالقنوات المناخية وهى قنوات رى حفرها سكان المريخ أصحاب حضارة متقدمة وإمكانات تكنولوجية كبيرة ، مما حدا بـ « برنارد لويل » أن يقيم بعد ذلك مرصداً خاصاً فى أريزونا «الولايات المتحدة الأمريكية» لدراسة هذه الظواهر على سطح المريخ .

٤ - الطواقي القطبية شديدة الشبه بالمناطق القطبية المتجمدة على سطح الأرض وتبعاً لطبيعة الفصول على المريخ تنصهر الطاقة الجنوبية (أو تسامى) بمعدل أسرع كثيراً من معدل انصهار (أو تسامى) الطاقة الشمالية ، وقد تلاشى تماماً بينما لا يقل عرض الأخيرة عن حوالى ٦ درجات .

رحلات الفضاء إلى المريخ :

١ - كانت المقابلة الأولى مع المريخ فى سنة ١٩٦٥ م وذلك بواسطة سفينة الفضاء مارينر ٤ وقد كشفت صورها الـ ٢٢ عن سطح مغطى بفوهات وحفر كثيرة ومتنوعة .

٢ - فى سنة ١٩٦٩ طارت سفينتا الفضاء مارينر ٦ ، ٧ فوق الكوكب وبعثتا بمئات الصور التى أكدت الطبيعة الميتة المليئة بالحفر التى أخبرت بها مارينر ٤ .

٣ - فى سنة ١٩٧١ وصلت مارينر ٩ فى مدار حول المريخ لتقوم بتصوير كافة أنحاء الكوكب ، وبعد انتظار انتهاء عاصفة رملية كبيرة دامت عدة شهور والتى سبقت وصولها ، بعثت المركبة بصور تؤكد النتائج السابقة ولكنها أضافت إليها وجود براكين ضخمة وأخاديد هائلة وكثبان من الرمال وقنوات تشبه مجارى الأنهار على الأرض وطبقات متعددة من الرواسب عند القطبين (بقوة تفريق ١٠-١ كم) .

٤ - فى سنة ١٩٧٦ وصلت إلى المريخ مركب الفضاء الأربع فاينج (قوة تفريق صورها ما بين ٨ متر و ١٥٠ - ٣٠٠ متر) لدراسة سطح المريخ بتفصيل أدق ، وذلك من مدارات حول الكوكب ومن على السطح مباشرة وبهدف حسم التساؤل القديم عن الحياة فوق هذا الكوكب . وقد استمرت فاينج ١ تعمل فى مدارها مدة ٤ سنوات بينما استمرت فاينج ٢ لمدة عامين ، وقد حصلت المركبتان معاً على أكثر من ٥٥,٠٠٠ صورة لسطح المريخ ، أما مركبة الهبوط فاينج ١ فقد رست فى منطقة تعرف بـ « كريس بلانيتيا » (٢٧, ٢٢ شمالاً ، ٩٧, ٤٧ غرباً) يوم ٢٠ يوليو سنة ١٩٧٦ ، بينما رست مركبة الهبوط فاينج ٢ فى منطقة « يوتوبيا بلانيتيا » (٧, ٤٧ شمالاً ، ٧٤, ٢٢٥ غرباً) فى الثالث من سبتمبر ، وقد تم جمع عينات حول المركبتين فى المناطق المتاحة لدراستهما اللذين كان طول كل منهما حوالى ٣ أمتار ، كما استخدمت الأذرع نفسها لدراسة خواص الصخور والتربة التى تراوحت بين مواد يسهل سحقها (عند الموقع الأول) إلى مواد غير قابلة للخدش (حول كلا الموقعين) .

جيولوجيا الكوكب وأهم ملامح سطحه :

أظهرت صور مارينر وفاينج أنه توجد على المريخ تركيبات جيولوجية متنوعة ومعقدة ، كما أظهرت عدم تماثل واضح بين نصفى الكرة الشمالى والجنوبى :

- ١ - يرتفع نصف الكرة الجنوبى ١ - ٣ كيلو متر عن المستوى الطبوغرافى المتوسط كما تكثر به الحفر والفوهات بأحجام وسعات مختلفة ، بينما يقع النصف الشمالى بصفة عامة تحت هذا المستوى ويندر وجود مثل هذه الحفر فيه .
- ٢ - يتكون نصف الكرة الجنوبى من جزئين رئيسيين ، قشرة قديمة جداً تكاد تكون مشبعة بالحفر الضخمة والصدوع والقنوات الصغيرة والكبيرة ، أما الجزء الآخر فهو سهول تفصل بين هذه الحفر ، أما نصف الكرة الشمالى فيتكون من سهول متنوعة بها بعض الحفر وبعض البراكين . وطبيعة التربة فى خطوط العرض المتوسطة والكبيرة شعشاء تكثر بها الأصداف الصخرية شديدة الانحدار والأخاديد .



شكل (١٥) صخور متناثرة على سطح المريخ

٣ - استمر النشاط البركاني فوق المريخ حتى عهد قريب . ولا توجد فقط جبال بركانية بل وكذلك سهول تشكلت من حمم هذه البراكين .

ويوجد أضخم بركان فى المجموعة الشمسية وهو بركان « أولمبس مونس » حيث يصل قطره حوالى ٦٠٠ كم وطوله حوالى ٢٦ كم . وهذا البركان ليس إلا واحداً من بين ٤ براكين عملاقة فى منطقة « تارسيس » فى نصف الكرة الشمالى .

٤ - يوجد بجوار الطاقية القطبية الشمالية حقول شاسعة من الكثبان فيما يسمى بحر الرمال الشمالى ، وهذه الظاهرة تتكرر كثيراً فى مناطق أخرى من المريخ مما يوضح أن الرياح كان لها الدور الأكبر فى تشكيل سطح الكوكب فى ماضيه القريب . ويتكرر على المريخ وجود خطوط مضيئة ومعتمة تكونت فى بعض الحالات من ترسب مواد زاهية اللون وأخرى داكنة وهو ما يفسر الكثير من المناطق المضيئة والداكنة ، وكذلك ظاهرة القنوات التى تظهر فى الأرصاد الأرضية .

٥ - وقد أثبتت تجارب فايكنج أن التركيب الكيميائي لصخور السطح هو :

(أ) يمثل السليكون والحديد حوالى ثلثي مكونات العينات .

(ب) نسبة الكبريت ١٠٠ مرة مثلها فى القشرة الأرضية .

(ج) البوتاسيوم $\frac{1}{8}$ (خمس) ما فى صخور الأرض .

(د) يمكن وصف المادة السطحية فى كلا موقعى الهبوط بأنها طَفْلَةٌ غنية بالحديد وهى تكسب المريخ لونه الصدئ .

٦ - اللب الداخلى صغير ومجاله المغناطيسى أقل من نصف مجال الأرض .

جو المريخ :

١ - من المعتقد أن كواكب المجموعة الأرضية فقدت أجواءها خلال مرحلة نشطة فى تطور الشمس ، وعلى ذلك فأجواء هذه المجموعة ذات مصدر ثانوى هو باطن الكوكب .

٢ - يشكل ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء النسبة الكبرى من الغازات المناسبة وكذلك النيتروجين وقليل من الغازات الخاملة .

٣ - استمر ثانى أكسيد الكربون فى الجو محافظاً على نسبته العالية بينما تجمد الماء تحت السطح فقلت نسبته فى الجو بدرجة كبيرة وبذلك تكون نسب مكونات الغلاف الجوى للمريخ : ٩٥ ٪ ثانى أكسيد الكربون ، نيتروجين ٣ ٪ ، أكسجين ١ ، غازات خاملة وبخار ماء قليل جداً وأول أكسيد الكربون بنسبة صغيرة جداً (تكون بقية النسبة) .

٤ - قامت مركبتا الفضاء فايكنج برصد الأحوال الجوية لأكثر من عام مريخى وكانت نتيجة الرصد الآتى :

(أ) تراوحت درجات الحرارة بين ١٥٠° عند موقع فايكنج ٢ (الأكبر فى خطى العرض) إلى أكثر من ٢٥° مطلقة عند موقع فايكنج ١ (الأقرب إلى خط الاستواء) .

(ب) معدل تغير درجة الحرارة خلال اليوم بين 35° - 50° ولو أن العواصف الترابية تؤدي إلى تقليل مدى التغير .

(ج) خلال الصيف في نصف الكرة الشمالي ينخفض الضغط (متوسطه العادي حوالي $\frac{1}{17}$ على الأرض) لأقل معدل له بسبب تكثف الصقيع (من ماء وثاني أكسيد الكربون) على الطاقة القطبية الجنوبية .

(د) وخلال تلك الفترة كان الجو مستقرًا ومتوسط سرعة الرياح ٢ ميل / ساعة ولكن بحلول الخريف ازداد التغير من يوم إلى يوم ، وخاصة في موقع المركبة الثانية وكانت الأعاصير تمر فوق الموقع بمعدل حوالي مرة كل أسبوع .

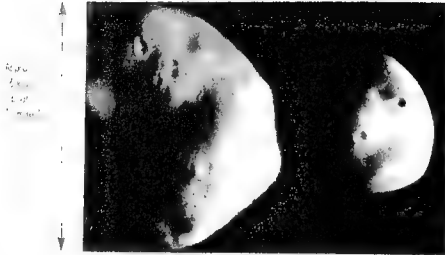
الماء على المريخ :

المريخ هو الكوكب الوحيد غير الأرض الذي فاضت فيه المياه على سطح الكوكب في وقت ما .

١ - يتضح من فحص سطح المريخ أن الماء والرياح كان لهما دور كبير في عمليات تشكيل الصخور بمساعدة الحرارة المناسبة من باطن الكوكب ، وكذلك غيرت الحفر الناشئة عن اصطدام النيازك وغيرها ، ومصدر إمداد الماء على الكوكب هو تلك البراكين التي تميز سطحه .

٢ - بالرغم من ذلك فإننا لا نرى أثرًا للماء في حالة السيولة حاليًا . وفي الحقيقة فإن الضغط الجوي على المريخ صغير لدرجة أن أي ماء سائل يوجد فوق سطحه يتبخر مباشرة بما يشبه الانفجار ، وهذا يثير التساؤل : أين يوجد الماء على المريخ ؟

٣ - أثبتت الدراسات في المنطقة تحت الحمراء وجود جزء من ماء المريخ متجمدًا في الطاقة القطبية الشمالية (وكذلك ثاني أكسيد الكربون) . وعلى ذلك فإن الماء في المريخ يوجد متجمدًا في الطبقات السفلى من الطواقي القطبية ، وكذلك في صورة جليد تحت السطح مختلطًا بالصخور .



شكل (١٦) قمر المريخ فوبوس (إلى اليمين) وديموس (إلى اليسار)

الحياة على المريخ :

أثبتت تجارب البحث عن الحياة على الكوكب عدم وجود أى مركبات عضوية ، لكن لا يمكن الجزم بعدم وجود حياة على المريخ كنتيجة لهذه التجارب لعدة أسباب منها :

- ١ - أخذت العينات من موقعين محددين لم تتعدهما .
- ٢ - يجب البحث عن الحياة حيث يوجد الماء ، والماء يوجد تحت السطح أو فى المناطق القطبية . وفى هذا الصدد حدثت أمور طريقة نذكر منها :

(أ) فى سنة ١٩٥٧ اكتشف عالمان أمريكيان هما « ستون ، سترونج » وجود خطوط طيف لمواد عضوية فى طيف المريخ وأعلننا ذلك النبأ السعيد ، لكن لم يثبت وجود مثل هذه الخطوط فى أية أرصاد أخرى ، فأعادنا تحليل أرصادهما ، وفى سنة ١٩٦١ أعلننا أن هذه الخطوط لم تكن فى جو المريخ بل نتاج بخار لماء ثقيل وُجد فى جو الأرض وقت الرصد .

(ب) التقطت مركبة الفضاء (VI) صورة خادعة لما يشبه رأس إنسان تمتد فوق السطح حوالى ١,٥ كم وقد سميت وجه « المريخ » .

(ج) كذلك التقطت مركبة الهبوط فايكنج ١ صورة لصخرة محفور عليها ما يشبه حرف B ، ولكن الواضح أن خداع الظلال وعوامل التعرية هى التى أبرزت كلا الشكليين .

ومن الجدير بالذكر أن مواد عضوية اكتشفت فى النيازك التى تسقط على الأرض ؛ ولذا كان الأمل كبيراً فى اكتشاف مواد عضوية أو حياة أولية على سطح المريخ .

أقمار المريخ :

للمريخ قمران يسميان ديموس وفوبوس واكتشفا فى سنة ١٨٧٧ :

١ - ديموس : القمر الخارجى ، قطره ٧ - ٨ ميل ويبعد ١٤٦٠٠ ميل من مركز الكوكب وهو يدور حول الكوكب كل ١٨ دقيقة ٣٠ ساعة .

٢ - فوبوس : القمر الداخلى ، قطره ١٤ - ١٨ ميل ، ومتوسط بعده عن مركز الكوكب ٥٨٠٠ ميل ، ويكمل دورة كل ٣٩ دقيقة ٧ ساعة ، وهو الوحيد الذى يدور دورة حول الكوكب فى أقل من فترة دوران الكوكب حول نفسه لهذا فهو يشرق فى الغرب ويغرب فى الشرق بعد حوالى $\frac{1}{4}$ ساعة ، ثلاث مرات خلال اليوم المريخى .

أما ديموس فيمضى حوالى ١٣٢ ساعة ($\frac{1}{4}$ يوم) بين شروقين متتاليين نتيجة للمحركة النسبية بينه وبين دوران المريخ .

نشأة أقمار المريخ :

فى سنة ١٩٧٨ أعلن كل من « فان ثلاندرن » و « أوفدن » عن توصلهما لأدلة تؤكد أن كوكبا كان يوجد بين مولدى المريخ والمشتري حتى عهد قريب (حوالى ٥,٠٠٠,٠٠٠ سنة) وأن هذا الكوكب تحطم ونتجت عنه منطقة الكويكبات ، وتبعاً لذلك فقد رجحنا أن فوبوس وديموس من نتاج هذا الحطام اجتذبهما المريخ ليدورا حوله فى مداريهما الحاليين .

٥-٧ السيارات العظمية :

كما سبق وذكرنا تضم السيارات العظمية المشتري وزحل ويورانوس ونبتون، وهى تشترك فى خصائص عامة سبق أن أوجزناها .

٥-٧-١١ المشتري :

هو أكبر أفراد أسرة الشمس بعد الشمس نفسها .

معلومات عامة عن المشتري :

متوسط البعد عن الشمس ٥,٢٠ وحدة فلكية .

الكتلة = ٥,٢ قدر مجموع كتل بقية الكواكب .

= ٣١٨ قدر كتلة الأرض .

قطره = ١١ مرة قدر قطر الأرض = ١٤٠ ألف كيلو متر .

الكثافة = ١,٣ جم / سم^٣ .

السنة = ١١,٨٦ سنة أرضية .

اليوم = ٩ س ، ٥٠ ق ، ٣٠ ث .

ميل المدار = ١° ١٨' ٦٧ .

ميل الاستواء على مستوى المدار = ٣° ٥ .

القدر عند الاستقبال المتوسط = - ٢,٧ .

وتشير هذه القيمة الصغيرة للكثافة إلى أن المشتري يتكون أساساً من الهيدروجين والهليوم فى حالتيهما السائلة والغازية حيث صاحبه منذ نشأته لكبر

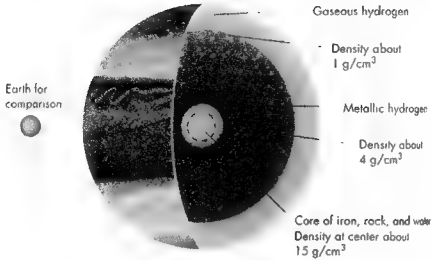
السرعة اللازمة للهروب منه حيث تصل إلى ٥٩,٦ كم / ث (بينما قيمتها على الأرض ١١,٢ كم / ث) . وبعده عن الشمس فجوه العلوى شديد البرودة لا تزيد درجة حرارته عن ١٣٠ ك (- ١٤٣ م) حيث تتحرك جزيئات الهيدروجين بسرعة ١ كم / ث فقط . وقد تأكدت هذه النتائج من دراسات سفن الفضاء الأمريكية بيونير ١٠ ، ١١ و فويجر ١ ، ٢ .

التركيب الداخلى :

يمكن الاستدلال على التركيب الداخلى من نماذج فيزيائية تضم نوعين أساسيين من المعلومات ، أولاهما : أن كثافته الصغيرة وغلافه الهوائى يشيران لخلطة من مادة شبيهة بمادة الشمس ، وثانيهما : أن المشتري يشع إلى الخارج ضعف ما يستقبل من طاقة الشمس مما يعنى سخونة داخله وإن لم يكن للدرجة التى تجعل التفاعلات النووية تبدأ بداخله .

ودورة المشتري حول محوره دورة تفاضلية حيث تتراوح بين ٩ س ، ٥٠ ق عند خط الاستواء إلى ٩ س ، ٥٥ ق عند القطبين ، وهذا يؤكد أنه ليس صلباً ، هذه الدورات تعنى أن سرعة الدوران عند خط الاستواء ٤٣٠٠٠ كم / ساعة مما جعله شديد الانبعاج (معامل الفلطحه حوالى $\frac{1}{10}$) لشدة تأثير الطرد المركزى للمادة عند خط الاستواء .

ويحيط جو المشتري بالكوكب كقشرة رقيقة لا يتعدى سمكها ١٠٠٠ كم ، وتتكون من جزيئات الهيدروجين . فإذا ما تعمقنا داخل الكوكب تزداد الكثافة ودرجة الحرارة والضغط ، لذلك يوجد الهيدروجين فى الحالة السائلة . فإذا ما وصل الضغط إلى ٢ مليون ضغط جوى تتفكك جزيئات الهيدروجين إلى بروتونات والإلكترونات تتحرك بحرية ويمكنها توصيل الكهرباء . هذه الحالة تسمى « الهيدروجين المعدنى » وقد أمكن حديثاً محاكاة هذه الحالة فى المعامل على الأرض . والهيدروجين المعدنى يبدأ من حوالى ١٤٠٠ كم من مركز الكوكب (شكل ١٧) . داخل هذه المنطقة يرجح وجود لب مكون من العناصر المكونة للصخور مثل الحديد والسليكون والأكسجين ، ويقال أحياناً أن هناك طبقة ثلجية أسفل طبقة الهيدروجين .



شكل (١٧) نموذج للتركيب الداخلي لكوكب المشتري

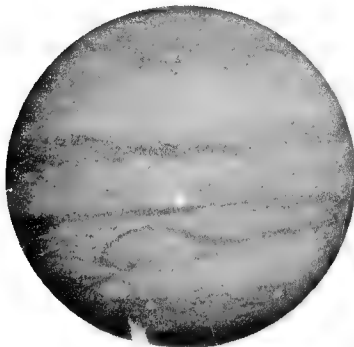
وهذا لا يعني إلا وجود مواد مثل الكربون والنيتروجين والأكسجين بالإضافة للهيدروجين ، فلا يمكن وجود ثلج في تلك الحرارة الشديدة الارتفاع .

ملاحظات الجو وتركيبه :

إن القرص الذي نراه للمشتري (شكل ١٨) ليس سطحه بل جَوْه العلوى حيث نرى أحزمة موازية لخط الاستواء بعضها داكن وبعضها رَاح ، وتسمى الزاهية بالمناطق (Zones) بينما الداكنة تسمى الأحزمة (Belts) . وانخفاض حرارة الأنطقة يشير إلى أنها أعلى من الأحزمة مما يعني أنها قعم لمناطق تتجه لأعلى ذات ضغط مرتفع، بينما تميز الأحزمة مناطق منخفضة الضغط تهبط لأسفل . هذه التيارات في جو المشتري تدفعها طاقة من باطن الكوكب مما يعنى سخونة باطنه .

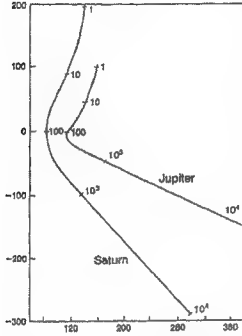
وسرعة الدوران الهائلة للمشتري تدفع دورة الجو فتجعل كلا من الأنطقة مرتفعة الضغط والأحزمة منخفضة الضغط تمتد لتحيط بالكوكب تماماً . كذلك تظهر تيارات نفثاة عند الفواصل بين الأنطقة والأحزمة فتنشأ اضطرابات جوية .

والسرعة المعتادة للرياح ١٠٠ م / ث أى حوالى ٣ أضعاف سرعة التيارات النفثاة على الأرض .



شكل (٨) المناطق الزاهية (الأنطقة) والداكنة (الأحزمة) المحيطة بكوكب المشتري . وترى البقعة الحمراء الكبيرة على الكوكب .
ويلاحظ اللون البرتقالي الغالب والمميز للمشتري

وأشهر مظاهر الاضطرابات الدوامية في جو المشتري هي « البقعة الحمراء الكبيرة » (شكل ١٨) وهذه البقعة متغيرة في الحجم ومتوسط امتدادها ١٤٠٠ كم عرضاً و ٤٠٠٠ كم طولاً ، وبذلك يمكنها ابتلاع الأرض بسهولة ، وهي أبرد عدة درجات من المناطق المحيطة بها كما أنها تعلو فوقها بعدة كيلومترات ، وبذلك فهي منطقة ضغط مرتفع . وهذه البقعة تدور شرقاً مرة كل ٧ أيام .



والغلاف الجوي العلوي للكوكب يحتوى حوالى ٨٢ ٪ من كتلته هيدروجين و ١٨ ٪ هيليوم ، وآثار قليلة من العناصر الأخرى مثل الميثان والأمونيا ، وهو في هذا مشابه للشمس لدرجة كبيرة . ومعظم تلك المواد موجودة في صورتها الجزيئية .

والسحب التي تشاهد عند قمة المناطق الزاهية (الأنطقة) تتكون على الأرجح من بللورات الأمونيا والهيدروجين الجزيئي ، بينما تطفو تحتها سحب من الأمونيا السائلة والثلج المائي .

تغير درجة مع الانحناء في أجواء المشتري وزحل وقد اختير الانحناء صفر مقابل انخفاض قدره ١٠٠ على بار والأرقام على المنحنيات تعطي قيمة الضغط

وسمك الغلاف الجوي بأكمله لا يزيد عن ١٠٠٠ كم ولا يوجد حد واضح بين باطن الكوكب وهوائه .
المجال المغناطيسي :

للمشتري مجال مغناطيسي قوى تصل شدته لحوالى ٢٠ إلى ٣٠ ضعف مجال الأرض . وقطباً هذا المجال معاكسان لقطبي الأرض ، وهذا ليس غريباً ، فمجال الأرض نفسه يغير اتجاهه كل فترة .

وقد ساعدت شدة هذا المجال على نشوء حزامين مشعين كبيرين كحزامي

فان الن وإن كانت كثافة الشحنات فيهما أعلى كثيراً . ومحور المجال يميل على محور الكوكب حوالى ١٠ درجات .
أقمار المشتري وحلقته :

عدد أقمار المشتري ستة عشر قمرا ، تقع ثمانية منها على أبعاد صغيرة من الكوكب (لا تتعدى مليون كيلو متر) ، بينما تتزايد أبعاد أربعة منها حتى ١٢ مليون كيلو متر ، ومستويات مدار الأقمار تميل على مدار المشتري بزوايا تتراوح بين ٢٥ و ٣٥ . أما الأربعة الأخرى فتدور على مسافات بين ٢١ - ٢٤ مليون كيلومتر فى اتجاه عكسى وفى مستويات ذات ميل كبير . وأربعة من أقمار المشتري من أكبر أقمار المجموعة الشمسية ، بل إن أكبرها « جانيميد » أكبر من كوكب عطارد، وأبعاد هذه الكواكب وأنصاف أقطارها موضحة فى الجدول التالى:

القمر	البعد (كم)	نصف القطر (كم)
I_0	٤٢٢٠٠٠	١٨١٥
أوربا	٦٧١٠٠٠	١٥٦٩
جانيميد	١٠٧٠٠٠٠	٢٦٣١
كالستو	١٨٨٣٠٠٠	٢٤٠٠

ونتيجة لقوى المد ترتبط مدارات كل من I_0 وأوربا وجانيميد بحيث تحقق أطوالها السماوية العلاقة :

$$180^\circ = 2\lambda_{\text{جانيميد}} + 3\lambda_{\text{أوربا}} - \lambda_{I_0}$$

وبذلك لا يمكن أن تُرى من المشتري فى اتجاه واحد . وهذه الأقمار مختلفة فى كل شيء ، وخاصة فى الشكل فلا يتشابه اثنان منها .

I_0 : هو أقرب الأقمار الكبيرة الأربعة للمشتري ، وهو يتمدد وينكمش فتتطلق منه حرارة يتأثر بها الكوكب وكثافة I_0 أعلى كثافة بين أقمار المجموعة الشمسية ، كما أن عليه براكين نشطة تطلق كمًّا من الحمم فى صورة كبريت وثانى أكسيد الكبريت تخترق الغلاف المغناطيسى للمشتري فتكون أيونات من الأكسجين والكبريت . وتحدث تلك الأيونات تيارًا كهربائيًا يصل إلى حوالى ٥ مليون أمبير .

أوروبا : هو ثاني هذه الأقمار بعداً عن المشتري وهو يتميز بدرجة لمعان عالية جداً تشابه درجة لمعان الزهرة ، وسبب ذلك وجود طبقة من الثلج تغطي سطحه .

جانيميد : هو أكبر أقمار المجموعة الشمسية بل إنه أكبر حجماً من عطارد . كالستو : يتضح من الجدول أنه ثاني أقمار المشتري من حيث الحجم . أما بقية الأقمار فهي بين صغيرة ومتوسطة ، وأربعة منها أقرب للمشتري من I_0 ، وكما هو الحال بالنسبة للأقمار الصغيرة ، فإن أشكالها غير منتظمة ويمكن القول أن جميع أقمار المشتري تعطيه وجهاً واحداً .

وتحتوي جميع الأقمار الداخلية بما فيها I_0 على كمية قليلة من الثلج وأغلب مادتها من الصخور . أما الأقمار الخارجية فأغلب مادتها من الثلج . ولذا فإن كثافتها صغيرة . كذلك تمثل أسطح الأقمار الخارجية بالحفر الناشئة عن اصطدام النيازك بها ، وهذا يشير إلى أنها أقدم من الأقمار الداخلية . وقد اكتشفت حول المشتري حلقة رقيقة تدور حول الكوكب ، تتكون من حصوات صغيرة الحجم .

٥-٢-٢ زحل :

هو الكوكب التالي للمشتري بعداً عن المشتري .
معلومات عامة عن زحل :

متوسط البعد عن الشمس = $9,53$ وحدة فلكية .

ميل المدار = $2,5^\circ$.

السنة = $29,42$ سنة أرضية .

طول اليوم = 10 س و 14 ق (عند الاستواء) .

ميل مستوى الاستواء على المدار = $29^\circ 44'$.

متوسط القطر = 9 مثل قطر الأرض .

الكتلة = $95,12$ كتلة الأرض .

الكثافة = 7 جم / سم³ .

سرعة الهروب = 36 كم / ث .

درجة حرارة الجو > 130° مطلقة .



عدد الأقمار = ١٨ قمرا .

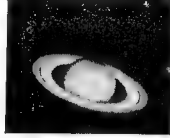
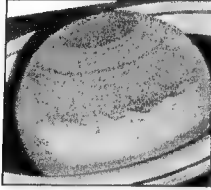
عدد الحلقات = ٧ ، ثلاثة منها مرئية من الأرض .

القدر عند الاستقبال المتوسط = ٦٧ و .

ويلاحظ من هذه الأرقام أن زحل ولو أن كتلته أقل من $\frac{1}{3}$ كتلة المشتري إلا أنه يقاربه في الحجم ، وسبب ذلك هو كثافته الصغيرة جداً التي تجعله قادراً على الطفو فوق الماء ، مما يعنى خلو باطنه من المواد الصخرية وثرائه في العناصر الخفيفة . ودوران الكوكب حول محوره تفاضلي (يتغير مع خط العرض) حيث تصل الدورة قرب القطبين إلى حوالي ١٠ س و ٣٩ ق . ويغلب على مظهر زحل اللون الأصفر (شكل ١٩) .

جو زحل :

يمثل جو المشتري وأحزمته (شكل ١٩) موازية لخط الاستواء تدفعها سرعة الدوران الكبيرة . والتغيرات في تلك الأحزمة نادرة مقارنة بالمشتري . وتحدث في جو زحل عواصف متوسطة على فترات كل حوالي ٣٠ سنة (أرضية) وبالتقريب في منتصف الصيف في نصف الكرة الشمالية وقد تستمر عدة أسابيع . وجو زحل يتكون تقريباً من نفس مكونات جو المشتري ، أساساً من الهيدروجين والهليوم - ولكن الهليوم يمثل نصف نسبته على المشتري .



شكل (١٩) (a) كوكب زحل وحلقاته

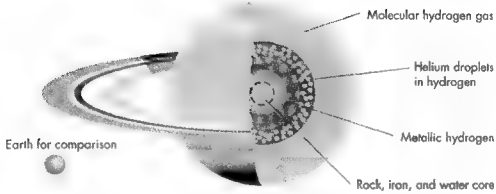
(b) عاصفة كبرى هي جوف زحل (مرصد هبل الفضائي)

وتتكون السحب على ارتفاعات منخفضة ، كما يتكون ضباب مرتفع يحجب عنا رؤية الكوكب . أما سرعات الرياح فهي أعلى كثيراً منها على المشتري فتصل إلى ٥٠٠ م / ث بالقرب من خط الاستواء ، وحين تنثور العواصف العاتية تستمر عدة سنوات (أرضية) .
باطن زحل :

يعكس الترتيب الداخلى لزحل تركيب المشتري وهو تقريباً نفس تركيب الشمس . وهو يتكون من لب من مادة صخرية قطره ٢٠٠٠٠ كم وكتلته ٢٠ أرض (وقد لا يوجد هذا اللب من أساسه) ودرجة حرارة الباطن حوالى ١٥٠٠٠ مطلقاً يتلوها منطقة صغيرة نسبياً من الهيدروجين المعدني ثم منطقة كبيرة من الهيدروجين السائل مثله مثل المشتري .
وكوكب زحل يشع من داخله ما يعادل ١,٨ مثل الطاقة التي يستقبلها من الشمس .

المجال المغناطيسي :

أوضحت الدراسات الراديوية وتلك التي أجرتها سفن الفضاء وجود مجال مغناطيسي قوى يميل محوره درجة واحدة على محور الكوكب . وقد ساعد هذا المجال على وجود أجزمة إشعاعية كبيرة مشابهة لأجزمة فان آلن وكذلك في اجتذاب الجسيمات المشحونة الصادرة عن الشمس .



أقمار زحل وحلقاته :

يدور حول زحل ثمانية عشر قمرا وسبع حلقات تُرى منها على الأرض ثلاث حلقات. وأكبر أقمار زحل هو القمر تيتان وهو ثاني أقمار المجموعة الشمسية بعد جانيמיד ، ثم يلي تيتان في الكتلة ٨ أقمار متوسطة ، والباقية أقمار صغيرة أشكالها غير منتظمة . وأبعد أقمار زحل يسمى « فوب » يبعد تقريبا أربعة أمثال بقية الأقمار ويتحرك حركة تقهقرية .

القمر تيتان :

قطره حوالي ٥١٢٠ كم ودرجة حرارة سطحه ٩٤ مطلقا . أما كتلته فتلاثة أمثال كتلة القمر . ولتيتان غلاف جوي أعمق من غلاف الأرض يصل الضغط فيه إلى ١,٥ جو ، ويتكون هذا السجو من النيتروجين بنسبة تزيد عن ٨٠ ٪ ونسب أقل من الهيدروجين والأرجون والميثان وهيدروكربونات أخرى . كذلك رُصدت في جوه جزيئات سيانيد الهيدروجين (HCN) وهي عادة ما تبدأ سلسلة تفاعلات قد تنتهي بحامض « داي أكس ريبوتوكلوريد » (DNA) وهو أساس العمليات الوراثية على الأرض ، وبذلك فوجوده يجعل من غير المستبعد احتمال وجود نوع من الحياة .

وتوجد على تيتان طبقات عديدة من السحب أقربها للسطح سحب من الميثان حيث يمكن في درجات الحرارة المنخفضة السائلة أن يتواجد في صوره الصلبة والسائلة والغازية ، وهذا يعنى وجود أمطار من الميثان وبحيرات من الميثان السائل ، كذلك من المحتمل وجود بحيرات من النيتروجين السائل .

والارتفاع النسبي لكثافة القمر (٢ جم / سم^٣) يشير لوجود مواد صخرية إضافة للثلوج ، كما أن وجود النيتروجين قد يعنى وجود نشاط بركاني قديم .

القمر إنكليديوس :

هو أكثر الأجسام عكسًا للإشعاع في المجموعة الشمسية ، حيث يعكس كل ما يسقط عليه من أشعة الشمس . وسبب ذلك وجود طبقة من الثلوج المتبلرة، وهذا التبلر يعنى تعرض القمر لحرارة أدت إليه .
الحلقات :

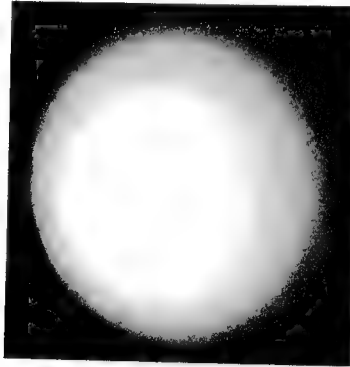
تتكون من حبيبات تتراوح بين عدة سنتيمترات وعدة أمتار وتتكون أساسًا من الثلج ولذلك فعاكسيتها عالية ، والحصوات والصخور المكونة للحلقات تدور حول الكوكب متجمعة في صورة تلك الحلقات وإن كان لكل منها مداره الخاص .

٥-٧-٣ يورانوس :

يلى زحل فى بعده عن الشمس وقد اكتشفه وليم هرشل سنة ١٧٨١ م .



Earth for
comparison



كوكب يورانوس (فويجر ٢)

معلومات عامة عن يورانوس :

متوسط البعد عن الشمس = ١٦,٢٤ وحدة فلكية .

ميل المدار = ٢٣° ٤٦ .

السنة = ٨٤,٣٦ سنة .

- طول اليوم = ١٧ س و ١٤ ق .
- ميل مستوى الاستواء على المدار = $9\dot{V} ٥٢$.
- نصف القطر الاستوائى = ٢٥٥٩٩ كم = ٤,٠١ مثل الأرض .
- الكتلة = ١٤,٥٤ كتلة أرضية .
- الكثافة = ١,٢٧ جم / سم^٣ .
- سرعة الهروب = ٢١,٣ كم / ث .
- درجة حرارة السطح = ٧٦ مطلقة .
- عدد الأقمار = ١٥ قمراً
- عدد الحلقات = ١١ حلقة .
- القدر عند الاستقبال المتوسط = ٥,٥٢ .

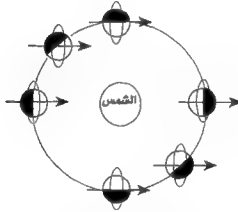
الملاحظات الجوية والفيزيائية :

الجو العلوى ليورانوس شديد البرودة ويتكون أساساً من الهيدروجين الجزيئى والهليوم والميثان . ولون الكوكب واضح الزرقة ، وسبب ذلك ارتفاع نسبة الميثان فى الجو ، فعندما يخترق ضوء الشمس الغلاف الجوى يمتص جزءاً كبيراً من الأشعة الحمراء بينما ينعكس الكثير من اللونين الأزرق والأخضر فيكسبانه هذا اللون . والميثان يشغل الطبقات العليا من الجو يعكس المشتري وزحل حيث تعلوه هناك غازات أخرى تكسبها ألواناً مختلفة . كذلك لم تكتشف أى تفاصيل أو أحزمة مثل تلك السائدة فى كل من المشتري وزحل .

ومحور دوران الكوكب يميل على محور المدار حوالى 9٨° ، أى أن قطبه الشمالى إلى أسفل ، ولهذا فحركته تراجعية بل وغريبة . والأغرب أن حلقاته وأقماره تأخذ نفس الميل وشكل الحركة العجيب .

وقد أوضحت أوليات أرصاد المركبة فويجر فى يناير سنة ١٩٨٦ وجود سحب من النشادر تقبع تحت طبقة كثيفة من الضباب ، وتبدو السحب مخططة بصورة دقيقة ، كما تجرف الرياح السحب فى نفس اتجاه دوران الكوكب ، وفى بعض الأحيان تظهر فى الجو العلوى سحب فجائية تتج من طفو فجائى عنيف للطبقات السفلى من الجو .

وتتراوح تقديرات دورة الكوكب حول محوره (طول اليوم) بين ١٧ ساعة عند خط الاستواء و١٥ ساعة عند القطبين . وكتيجة لوقوع محور دوران الكوكب تقريباً فى مستوى المدار ، فإن يورانوس يعرض قطبيه للشمس بالتبادل لمدة ٤٢ سنة فى كل مرة حيث تكون منطقة قطبه المواجه للشمس نهاراً بينما منطقة القطب الآخر مظلمة فى ليل يستمر طوال نفس المدة أى ٤٢ سنة ، ويتضح هذا من الشكل (٢٠)



شكل (٢٠) الليل والنهار فى المناطق القطبية للكوكب يورانوس حيث يستمر كل منهما هوالى نصف العام على يورانوس (٤٢ سنة أرضية)

وصغر كثافة يورانوس (حوالى ١,٣ جم / سم^٣) تعنى احتواءه أساساً على مواد خفيفة ، ويعتقد أنه يتكون على وجه التقريب من ١٥ ٪ هيدروجين وهيليوم و ٦٠ ٪ مواد ثلجية (ماء وميثان وأمونيا) و ٢٥ ٪ مواد أرضية (سليكات وحديد) . ويختلف تركيبه الداخلى كثيراً عن المشترى وزحل ، وقد يشتمل على لب صخرى صغير (فى حجم الأرض تقريباً) تحتوى قشرة ثلجية أو مائية بها بعض المواد الصخرية .

أقمار يورانوس وحلقاته :

يدور حول يورانوس ١٥ قمراً صغيراً تتراوح أقطارها بين ٥٠٠ و ١٦٠٠ كم ، اكتشفت عشرة منها سفينة الفضاء فويجر ، وكل هذه الأقمار يتساوى دورانها حول نفسها مع دورانها حول الكوكب وبذلك تعطيه نفس الوجه .

وأسطح تلك الأقمار معتمدة في الغالب ويقع بعضها داخل الحلقات .
ويحتمل وجود براكين وأنشطة جيولوجية أخرى على القمر ميرندا ، فقد شوهدت
عليه جبال شاهقة ومنحدرات حادة ، وهو أقرب هذه الأقمار إلى الكوكب .
أما الحلقات فعددها إحدى عشرة حلقة ، وهي رقيقة جداً مثلها مثل
حلقات المشتري ، وتتكون من أحجار متجانسة في حدود المتر عكس حلقات
رحل التي تتفاوت أحجارها في الأحجام .

المجال المغناطيسى :

لكوكب يورانوس مجال مغناطيسى ينحرف حوالى ٥٩° عن محور الدوران ،
والقطب الشمالى المغناطيسى قريب من القطب الجغرافى الجنوبى . ويدور هذا
المجال دورة كل ١٧ ساعة و ٢٠ دقيقة ، وقد اعتبرت هذه دورة الكوكب حول
محوره لصعوبة تعيين هذه الدورة بطرق أخرى حيث إن الكوكب عديم الملامح .
ومحور المجال لا يمر بمركز الكوكب ، وهو من الشدة بحيث نشأت أحزمة
مشعة ثابتة ، ولذلك يمكن توقع وجود شفق قطبى وقد تم رصد هذا الشفق فى
ليل يورانوس بواسطة فويجر .

٥-٧-٤ فبتون :

هو الكوكب التالى ليورانوس بعداً عن الشمس .
معلومات عامة عن نبتون :

البعد عن الشمس = ٣٠, ١١ وحدة فلكية .

الكتلة = ١٧, ١٥ كتلة الأرض .

السنة = ١٦٤, ٧٩ سنة أرضية .

الكثافة = ١, ٧ جم / سم^٣ .

ميل المدار = ٢٣° ٤٦' .

سرعة الهروب = ٢٣, ٥ سم / ث .

اليوم = ١٦ س و ٣ ق .

العاكسية = ٥٠ , .

ميل استوائه على المدار = ٢٩° ٣٤' .

عدد الأقمار = ٨ .

قطره المتوسط = ٣, ٨٦ من قطر الأرض .

القدر عند الاستقبال المتوسط = ٧, ٨٤ .

ومن ذلك يتضح أنه كوكب خافت تستحيل رؤيته بالعين المجردة ، وقد تم
حساب موقعه ، ثم اكتشف بعد ذلك سنة ١٨٤٦ م . وبرغم أنه الكوكب الثامن

إلا أنه يظهر كما لو كان التاسع عندما يكون بلوتو فى أقرب أوضاعه من الشمس .
الخواص الفيزيائية :

مثله مثل يورانوس يظهر نبتون بزرقة واضحة سببها الميثان فى جوّه الذى يتكون من الهيدروجين الجزيئى والهيليوم مع وجود الميثان كمكون ثانوى .
وقد أوضحت الأرصاد فى المنطقة تحت الحمراء أن درجة حرارة نبتون ٦٠ مطلقه ، وهى وإن كانت تشير لقدر ما يسود الكوكب من زمهرير إلا أنها تشير لانبعاث طاقة من باطن الكوكب تساهم فى تسخينه وتسخين جوّه إضافة لطاقة الشمس ، فلو كان التسخين فيه بواسطة الشمس فقط لما زادت درجة الحرارة عن ٤٤ . وتقدر الطاقة التى تنبعث من داخل نبتون بثلاثة أمثال ما يستقبله من الشمس ، وهذا القدر بالنسبة لكتلته يعتبر أكبر مما يبعثه كل من المشترى وزحل .
ملامح الجو :

طبقة جو نبتون الخارجية شفافة ويبدو الغلاف الجوى فى حالة نشاط حيث نشاهد فيه بعض مظاهر الطقس . وأهم الملامح التى كشفت عنها سفينة الفضاء «فويجر» تعرف بالبقعة الداكنة الكبيرة شكل (٢١) ، وهى أعاصير معتمة تمتد حوالى ٣٠٠٠٠ كم وتدور تجاه الغرب مكتملة دورة كل عدة أيام وتفتقر إلى الميثان ، يصاحب هذه البقعة سحب رقاء يتغير حجمها وشكلها من دورة لأخرى ، ويعتقد أنها ميثان متكتف . والأرجح أن هذه السحب تقع فوق طبقة السحب العادية التى تتكون من كبريتيد الهيدروجين . وتوجد كذلك بقع داكنة وزاهية أخرى قليلة نتيجة الحركة الرأسية للهواء ، ولكن لا تبدو هناك أحزمة مثل تلك الموجودة فى المشترى وزحل .

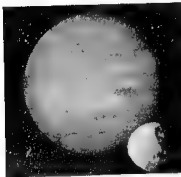
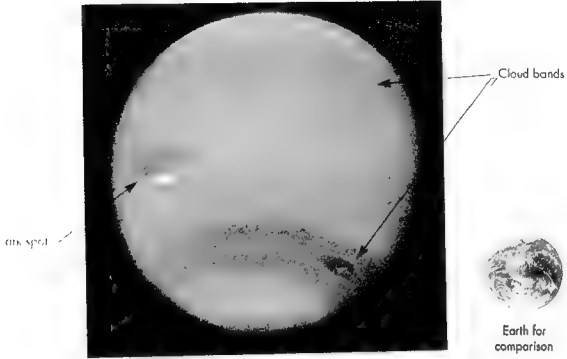
ومن المدهش - بعكس يورانوس - أن يكون النشاط الجوى بطاقة من داخل الكوكب .

المجال المغناطيسى :

تمكنت فويجر من التقاط إشارات راديوية صادرة من الكوكب ، وقد استخدمت تلك الإشارات فى تحديد فترة دوران الكوكب حول محوره بدقة وقدرها ١٦ ساعة و ٣ دقيقة . وقد قدرت شدة المجال المغناطيسى للكوكب بحوالى $\frac{1}{10}$ شدة مجال الأرض وهو مجال شديد الغرابة إذ يميل محوره ٤٧ على محور دوران الكوكب حول نفسه ، وهو ميل مساو على وجه التقريب نظيره على يورانوس ، كذلك يبعد هذا المحور كثيراً عن مركز الكوكب تجاه الجنوب .

أقمار نبتون وحلقاته :

عدد أقمار نبتون ثمانية اكتشفت فويجر ستة منها . وما اكتشفته فويجر أقمار



شكل (٢٦) كوكب نبتون وقمره

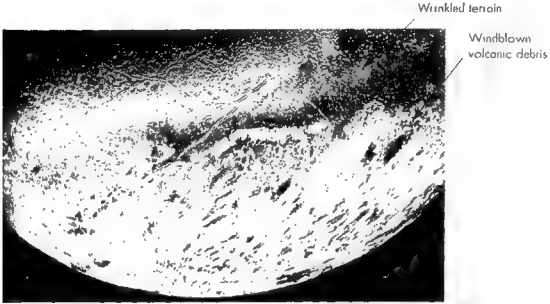
ترايبوتون والبقعة الداكنة الكبيرة

صغيرة قريبة من الكوكب وحركتها من الغرب إلى الشرق (عادية) أما القمران الآخران ففيهما بعض الغرابة وهما ترايبوتون وتيريد .
القمر ترايبوتون :

يتحرك فى مدار تراجعى وكثافته ٢,١ جم / سم^٣ ويشبه بلوتو فى الحجم والتركيب الداخلى له ٧٥ ٪ مادة صخرية و ٢٥ ٪ مادة ثلجية . ويوجد على ترايبوتون والبقعة الداكنة الكبيرة سطح هذا القمر ثلج يتكون من ماء ونيروجين وميثان متجمدة، ولذلك فعاكسيته كبيرة جداً (٨٠ ٪)، ودرجة حرارة سطحه صغيرة جداً (٣٥[°] - ٤٠[°] مطلقاً) . ويوجد لترايبوتون غلاف جوى رقيق ، الضغط فيه ١٠^{-٥} جو، هذا الغلاف متجمد نتيجة البرودة الشديدة فيما عدا قليل من النيتروجين ، ويوجد كذلك طواقي قطبية على هذا القمر .

والقمر ترايبوتون يبدو نشطاً جيولوجياً ، حيث توجد براكين نشطة وإن كانت

الغازات تخرج منها متجمدة . ولذلك تسمى براكين ثلجية ، وبالبطبع فإن هذه المادة البركانية لا تأتي من باطن الكوكب بل من طبقة قريبة من السطح ، وبذلك ينفرد هذا القمر والقمر I₀ والأرض بالنشاط الجيولوجي المستمر حتى الآن . وتوجد على السطح حفر مستديرة وتشققات توضح أن القشرة الخارجية تكسرت وتزحزحت بفعل طاقة داخلية شكل (٢٢).



شكل (٢٢) نصف القمر حرايتون المواجه لكوكب نبتون ، ويبدو في الصورة ملائحته القطبية الجنوبية

القمر تيريد :

يدور بعيداً عن الكوكب وهو صغير جداً ومداره تراجعي شديد الاستطالة ، حتى أن النسبة بين أقل بعد له عن الكوكب وأكبر بعد ١ : ٥ .

حلقات نبتون :

يدور حول نبتون ٣ حلقات رقيقة معتمدة يصعب رؤيتها وهي تتكون من أحجار صغيرة . ويوجد نطاق آخر من الحبيبات بالقرب من الكوكب . وتدور بعض الأقمار الصغيرة المكتشفة حديثاً داخل هذه الحلقات .

٥-٨ بلوتو :

متوسط بعد بلوتو عن الشمس هو الأكبر بين متوسطات أبعاد الكواكب .
وقد كان البحث عن كل من نبتون وبلوتو واكتشافهما نتاج اختلاف مواقع
يورانوس التي تشاهد بالأرصاد عن تلك التي نحصل عليها بالحساب . وقد انتهى
البحث المفضى عن بلوتو باكتشافه في مارس سنة ١٩٣٠ ، ومعلوماتنا عن هذا
الكوكب ما زالت ضعيفة حيث لم تره أى من سفن الفضاء ، ودراسته تحتاج
لأقوى المناظير ، وتوجد نظرية مؤداها أنه كان قمرا لنبتون مع ترايتون ثم حدث
بينهما اقتراب أكثر من اللازم نتج عنه أمران : عكس دوران ترايتون في مداره ،
بينما طرد بلوتو من مداره فدار حول الشمس بدلاً من دورانه حول نبتون .

معلومات عامة عن بلوتو :

متوسط البعد عن الشمس = ٣٩,٤٤ وحدة فلكية .

الاختلاف المركزى = ٢,٥٣ .

ميل المدار = ١٧° .

السنة = ٢٤٨,٥ سنة أرضية .

فترة الدوران حول المحور = ٦,٣٩ يوم .

ميل محور الدوران على محور المدار = ١١٢,٥° .

القطر = ٢٢٤٠ كم .

الكتلة = ٠,٠٢٢ , كتلة أرضية .

العاكسية = ٠,٦ .

سرعة الهروب = ١,٢ كم / ث .

الكثافة = ٢ جم / سم³ .

الخواص المدارية والفيزيائية :

نظراً لشدة استطالة مدار بلوتو فإنه ينأى عن الشمس حتى يصل لبعد ٤٩,٣ وحدة فلكية . وبذلك لا يقترب من الأرض لأقل من ٢٨,٧ وحدة فلكية . وقد وصل بلوتو للحضيض الشمسي في ٢١ يناير سنة ١٩٧٩ م . وبذلك سيظل أقرب للشمس من نبتون حتى مارس ١٩٩٩ م .

وحيث إن ميل محوره يميل ١١٢,٥° على محور المدار ، فمدورانه تراجعى ، وفى الوقت الحالى يواجه خط استوائه الشمس ، بينما خلال ٦٠ سنة سوف يواجه قطبه الشمس ، تماماً مثلما يحدث مع يورانوس .

وسطح بلوتو مغطى بثلوج من الميثان ، فهو سطح بارد لا تزيد درجة حرارته عن ٦٠° مطلقاً حتى خلال ساعات النهار . كذلك تشير الأرصاد الحديثة لوجود ثلوج من النيتروجين وأول أكسيد الكربون ، لذلك فعاكسيته كبيرة .

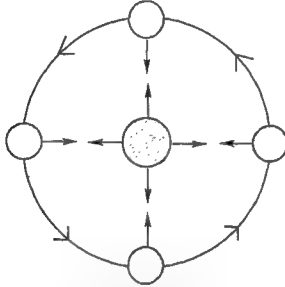
ولبلوتو غلاف جوى نأكد وجوده سنة ١٩٨٨ م ، ويمتد حوالى ٦٠٠ كم من سطح الكوكب والضغط فيه حوالى ١٠^{-٨} جو ، ويشتمل هذا الغلاف على نيتروجين وأول أكسيد الكربون والميثان الذى يتحرر من الجليد عندما يقترب بلوتو من حضيضه الشمسي ، بينما تتجمد معظم مكونات الغلاف الجوى عندما يصل الكوكب لأوجه الشمسي (أبعد مسافة عن الشمس) حيث تنخفض درجة الحرارة إلى ٤٥° مطلقاً .

ويتكون بلوتو من ٧٥ ٪ مواد صخرية ومعدنية و ٢٥ ٪ مواد ثلجية .

القمر شارون :

اكتشف هذا القمر سنة ١٩٧٨ م وقطره $\frac{1}{3}$ قطر بلوتو فلو نسبته لحجم كوكبه يكون أكبر أقمار المجموعة الشمسية وهو يبعد ١٩١٠٠ كم عن بلوتو . وتظهر الدراسات الطيفية وجود ثلج مائي على سطح شارون وليس الميثان ، وربما احتوى يوماً على الميثان إلا أن صغر جاذبيته السطحية لم تمكنه من الاحتفاظ به (كتلته ٠,٠٠٤ ر كتلة أرضية) فيظل ملتصقاً به فى حالة تجمد ، لذلك لا يتكون لهذا القمر جو قرب الحضيض الشمسي كما يحدث لبلوتو .

ويكمل شارون دورة في مداره حول بلوتو كل ٦,٣٩ يوما وهي نفس فترة دوران الكوكب حول محوره (شكل ٢٣) لذلك فهو القمر الوحيد الذى يبدى للكوكب وجهاً ثابتاً وكذلك يظهر له الكوكب دائماً نفس الوجه .



شكل (٢٤) يعمل كل من بلوتو وشارون للآخر وجهاً ثابتاً بسبب تساوى دورة شارون في مداره مع دورة بلوتو حول محوره

٥-٩ المذنبات :

عرفت المذنبات وورد ذكر أشهرها فى معظم الحضارات القديمة ، حتى أن بعضها مسجل منذ سنة ٢٤٠ قبل الميلاد ، لكنها وحتى وقت قريب لم تكن تعتبر أجراماً سماوية ، فقديمًا عرفها أرسطو بأنفاس تخرج من الأرض ، فلا تكاد تصعد فى الجو حتى تلتهب ، وظل القدماء يرون الشؤم فى ظهورها ، حتى قال أبو تمام ردًا على من خوفوا الناس منها قبل موقعة عمورية :

وخوفوا الناس من دهباء مظلمة

إذا بدا الكوكب الغربى ذو الذنب

وصيروا الأبرج العليا مرتبة

ما كان منقلباً أو غير منقلب

يقضون بالأمر عنها وهى غافلة

ما دار فى فلك منها وفى قطب



مذنب كوهوتيك

مذنب هالي وذيله الممتد بطول هـ
ويلاحظ وجود الزهرة في الصورة

وكان أول بحث علمي عن المذنبات هو بحث تيكونبراها عن مذنب لامع ظهر سنة ١٥٧٧م ، كما وصف كيلر بإسهاب مذنبًا ظهر سنة ١٦٠٧ ، وهو ما عرف فيما بعد بمذنب هالي ، وقد تبنى فكرة أن المذنبات ما هي إلا أجرام سماوية ، لكنه ظلها تسير في خطوط مستقيمة .

وبعض المذنبات يمكن رؤيتها بالعين المجردة فتبدو بقعًا باهتة من ضوء مشعشع تقل مساحته عن قطر القمر وهو بدر . ولبعضها ذيل باهت معتم يمتد خلفها بطول يشغل عدة درجات في السماء (أى يمتد عشرات بل ومئات الآلاف من الكيلو مترات) بعيدًا عن المذنب . ومثلها مثل الكواكب والقمر فإنها تنزاح على صفحة السماء من ليلة لأخرى ، وتظل مرئية لفترات تتراوح ما بين أيام قلائل إلى أشهر قليلة أو سنين .

والمذنبات كتل من الثلج والأتربة بقطر حوالى ١٠ كم أو أقل ولا ترى المذنبات بعيدًا عن الشمس ، فإذا ما اقتربت عن حوالى ٢ وحدة فلكية تبدأ حرارة الشمس فى إذابة الجليد فيتكون من الغازات المناسبة غلاف يحيط بالنواة فيكونان سويًا رأس المذنب وهى ألمع جزء فيه ويدفع

ضغط الإشعاع والرياح الشمسية الغاز والأتربة بعيداً عن الشمس . فيفتح الذيل الممتد المميز للمذنبات .

ويشير الذيل دائماً بعيداً عن الشمس . وعادة يوجد ذيلان ، أحدهما من الغاز والآخر من الأتربة ، فتندفع الأيونات الغازية بتأثير الرياح الشمسية مكونة للذيل الغازي ، وبعض ضوء هذا الذيل ينعكس عليه من الشمس ، إلا أن معظم ضيائه تشعه ذرات فيه مستتارة . أما الذيل الترابي فسببه ضغط الإشعاع الشمسي . وحيث إن سرعات جسيمات الذيل الترابي أقل من سرعات الذيل الغازي يكون انحناء الذيل الترابي عادة أكبر من انحناء الذيل الغازي .

ومادة المذنبات غير متماسكة بأي صورة ، وقد يتحطم المذنب بتأثير تسخين الشمس لسطحه ، وقد حدث هذا لمذنب « وست » سنة ١٩٧٥ (فتجزأ إلى ٤ أو ٥ أجزاء بعد مروره بنقطة الحضيض) وحدث سنة ١٩٩٥ المذنب شوميكر ليفي لدى اقترابه من المشتري حيث تحطم تماماً وسقط فوق سطحه . والمذنبات أشياء سريعة الزوال ، فهي لا تعمر لأكثر من آلاف قليلة من دورانها حول الشمس أو المذنبات قصيرة الدورة وهي تقضي فترات قصيرة هنا في الجزء المركزي للمجموعة الشمسية .

والمذنبات تتحطم سريعاً قرب مركز المجموعة الشمسية ، لذا لا بد أن هناك مصدراً لمذنبات جديدة قصيرة الدورة وتبعاً لأكثر الفروض قبولاً توجد سحابة كبيرة من المذنبات تسمى « سحابة أورت » تحيط بالمجموعة الشمسية وتمتد من حوالى ١٠ - ١٠٥ ألف وحدة فلكية من الشمس ويقدر عدد المذنبات في تلك السحابة بحوالى ٢٠٠ ألف مليون مذنب كتلتها الكلية حوالى ١٠^١ من كتلة الأرض .

وأشهر المذنبات الدورية مذنب هالي ، ودورته حوالى ٧٦ سنة ، وكان آخر ظهور له سنة ١٩٨٦ ، حيث تم رصده باستخدام مجسات الفضاء حيث أمكن الوصول لنواته الصلبة لأول مرة وهى على شكل ثمرة الفول السودانى القصيرة وأبعادها ٧ × ١٣ كم ، وسطحها مغطى بمادة شديدة العتامة . واقترب

المذنبات من الأرض لا يسبب أى خطورة عليها . فالخطر لا يأتى إلا من الاصطدام المباشر بالأرض ، ولكن هذا الاحتمال لا يكاد يكون له وجود حيث يجتذب المشتري أى مذنبات تتحطم فتسقط عليه بدلاً من أن تسقط على الأرض .

١٠-٥ الشهب والنيازك :

الأجسام الصلبة الأصغر من الكويكبات تسمى الشهابيات (Meteoroids) وعندما تصطدم الشهابيات بجو الأرض تحدث ضوءاً وهاجاً نسميه بالشهب ، وأصغر كتلة يمكن أن تحدث هذه الظاهرة مقدارها ١ جم ، أما الأصغر منها فتسمى الميكروشهابيات (Micrometeoroids) ويمكن الكشف عنها بالرادار وبأجهزة خاصة تحملها الأقمار الصناعية .

ومعظم الشهابيات صغيرة الحجم وتفى فى الغلاف الجوى على ارتفاع حوالى ١٠٠ كم وتسمى فى هذه الحالة « الشهب » (Meteors) . أما ما يصل منها لسطح الأرض فيسمى « النيازك » وتتراوح سرعات الشهابيات ما بين ١٠ - ٧٠ كم / ث ولا تتأثر سرعة الكبير منها بمروره فى جو الأرض فتصطدم بسطحها بهذه السرعات الكونية الكبيرة وتحدث حفراً ضخمة ، أما الصغيرة منها فتبطل وتسقط كالحجارة .

وقد أمكن العثور على آلاف من النيازك ، وأفضل الأماكن للعثور عليها القارة المتجمدة الجنوبية حيث تحمل مع الجليد إلى حافة القارة .

وحوالى ربع ($\frac{1}{4}$) النيازك تتكون من النيكل والحديد وتسمى النيازك الحديدية ، وهى وإن كانت أقلية إلا أن قدرتها أكبر على اختراق الغلاف الجوى والوصول لسطح الأرض ، أما الثلاثة أرباع ($\frac{3}{4}$) الأخرى فهى نيازك صخرية .

ونرى كثيراً من الشهب فى صورة رخات تبدو كما لو كانت آتية من مصدر أو مركز واحد ، وتسمى بأسماء الكوكبات التى يقع فيها هذا المركز كما فى الجدول التالى :

الاسم	التاريخ المتوسط	السرعة كم/ث	عدد الشهب / ساعة		المذنب المصاحب (سنة)	دورته
			الحد الأقصى	المتوسط		
كوادرانتييد	٣ - ٤ يناير	٤٣	١١٠	٣٠	-	٧
ليريد	٢١ - ٢٣ أبريل	٤٨	١٢	٨	I ١٨٦١	٤١٥
إيتا إكواريد	٢ - ٦ مايو	٥٩	٢٠	١٠	هالي	٧٦
دلتا إكواريد	٢٧ - ٣٠ يوليو	٤٣	٣٥	١٥	-	٣,٦
بيرسيد	١١ - ١٢ أغسطس	٦١	٦٨	٤٠	III ١٨٦٢	١٠٥
أوريونيد	٢٠ - ٢١ أكتوبر	٦٦	٣٠	١٥	هالي	٧٦
توريد	٤ - ٨ نوفمبر	٣٠	١٢	٨	إنك	٣,٣
ليونيد	١٦ - ١٧ نوفمبر	٧٢	١٠	٦	I ١٨٦٦	٣٣
جمينيد	١٣ - ١٤ ديسمبر	٣٧	٥٨	٥	إكيبا	١,٦

خصائص بعض رشات الشهب

وكثير من هذه الرشات تتبع مدار أحد المذنبات المعروفة ، لذا فإنه يعتقد أن بعض الشهابيات مصدرها هذه المذنبات ، وخاصة ما يتم منها .

ويمكن تقسيم الشهابيات إلى ٣ مجموعات متقاربة في الحجم : الأحجار العادية وتسمى « شوندرائيتس » والشوندرائيتس المكربنة الضعيفة ، أما الثالثة فتكون من مادة المذنبات وهذه لا يمكنها البقاء على الأرض .

٥-١١ الكويكبات :

تدور الكويكبات حول الشمس أساساً بين المريخ والمشتري وتقع معظمها في حزام الكويكبات على مسافات بين ٢,٢ - ٣,٣ وحدة فلكية من الشمس . وقد اكتشف أولها سنة ١٨٠١م وقد أحصى منها ٥٠٠٠ حتى الآن . ويقدر عدد ما يزيد منها عن ٥٠٠ متر بحوالى نصف مليون كويكب ، ومع هذا يقل مجموع كتلتها عن ٠,٠١ من كتلة الأرض ، وأكبر الكويكبات « سيريس » يصل قطره لحوالى ١٠٠٠ كم ، لذا لا يمكن رصدها بالعين المجردة .

وقد كان يعتقد أن الكويكبات نتاج تحطم أحد الكواكب ، إلا أن المعتقد حالياً أنها نشأت مع المجموعة الشمسية وأنها كانت أقل عدداً وأكبر حجماً ثم تحطمت بالتصادمات فيما بينها لتزداد عدداً وتقل حجماً .



وتوزيع الكويكبات داخل حزامها غير منتظم ويبدو أنها تتفادى بعض المناطق المسماة « بفجوات كيركوود » وأشهر تلك الفجوات فى مدارات تقدر الدورة فيها إلى دورة المشتري بالنسبة ١ : ٣ ، ٢ : ٥ ، ٣ : ٧ ، أو ١ : ٢ . وأشهر مجموعات الكويكبات تتبع مدارات نسب دوراتها لدورة المشتري ١ : ١ (الطروادية Trojans) و ٢ : ٣ (مجموعة هيلدا) .

والمجموعة الطروادية تشغل مناطق تصنع اتجاهًا من الشمس زاوية ٦٠° قبل اتجاه المشتري وبعده ، وهذه الأماكن تمثل حلين لمسألة الأجسام الثلاثة المقيدة إذا وضع فى أيهما جسم عديم الكتلة ، فإنه يبقى ساكنًا بالنسبة لكل من الشمس والمشتري ، لكن الكويكبات تنذبذب حول هذين الموقعين .

٥-١٢ الغبار ما بين الكواكب :

يمكن تبين وجود أتربة بين الكواكب من رصد الضوء البروجى والوهج المضاء (الجيجنشائين) وكلاهما نتاج انعكاس ضوء الشمس وتشتته على مادة ما بين الكواكب . الضوء البروجى عبارة عن ضوء خافت يرى حول دائرة البروج فوق الشمس المشرقة أو الغاربة . أما الجيجنشائين (Gegenschein) فضاء خافت جدًا مشتت يرى فى عكس اتجاه الشمس . والجسيمات الأولية التى ترتطم بالأرض تأتى من الشمس ومن خارج المجموعة الشمسية ، فالجسيمات

المشحونة وبالذات البروتونات والإلكترونات وجسيمات ألفا (أنوية الهيليوم) تنساب من الشمس بصفة مستمرة وهى ما تكون الرياح الشمسية . وسرعة هذه الرياح الشمسية بالقرب من الأرض ٣٠٠ - ٥٠٠ كم / ث وهذه الجسيمات تتفاعل مع المجال المغناطيسى لكل من الأرض والشمس ، حيث تصل شدة الأخير قرب الأرض لجزء من الألف من شدة مجالها . أما الجسيمات الآتية من خارج المجموعة الشمسية فتسمى الأشعة الكونية ، وهى بالإضافة لهذه الجسيمات الخفيفة تحتوى بعض الأنوية ، وربما تكون بعض هذه الجسيمات قد نشأت من انفجارات السوبرنوبا ، بينما بعضها الآخر رياح نجمية .

٥-١٣ ماخذاً عن الكوكب X :

كما ذكرنا فى الجزء الخاص بكوكب بلوتو كان الكشف عنه وعن نبتون نتيجة حسابات دقيقة أجريت لتفسير الاختلاف بين نتائج رصد يورانوس ومواقعه المقدرة بالحساب ، إلا أن اكتشاف بلوتو بل وقمره شارون لم يكن كافياً لإزالة الاختلافات الحادثة ، وقد أدى تحليل الاختلافات بين مواقع كل من نبتون ويورانوس لتوقع وجود كوكب آخر يسمى حالياً كوكب X ، ويجرى حالياً بحث مكثف عن هذا الكوكب .

وهناك إضافة لكوكب X (أو بدلاً منه) احتمال آخر مثير وهو وجود نجم رفيق للشمس أسود لا تزيد كتلته عن ٠.١ ر من كتلتها أطلق عليه اسم « نيميس » (الآلهة الإغريقية لدار الفناء) ونميس هذا (إن وجد) يتحرك حول الشمس فى قطع ناقص شديد الاستطالة وأقل مسافة له من الشمس ٢٥٠ ضعف بعد بلوتو ، بينما تصل أكبر مسافة إلى ٤٥٠٠ مثل هذا البعد ، وهو بهذا يمر خلال سحابة أورت مرة كل ٣٠ مليون سنة .

ومن الواضح أن الكشف عن كوكب X أسهل كثيراً من الكشف عن نيميس .

٥-١٤ نشأة المجموعة الشمسية :

توجد فروض عديدة لتفسير نشأة المجموعة الشمسية ، ومع هذا لم ترق أى منها لتمثل القول الفصل فى هذا المجال . لذا سنتعرض فى هذه الفقرة نبذة مختصرة عن أكثر تلك الفروض قبولا .

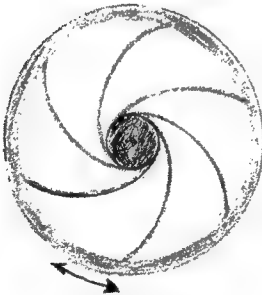
نشأت الشمس فى حشد من النجوم محاط بسحابة هائلة من غاز كان بعضه

قد تكثف مكونًا لهذا الحشد ، وحدث أن انفجر أحد نجوم الحشد انفجارًا شديدًا فاختلطت مادته بكميات الهيدروجين الكبيرة التي كانت تتكون منها السحابة والتي كانت ما تزال تكاثف مكونة للشمس . ونتيجة لهذا التكاثر وكما يحدث لجميع سحب الغاز بدأت السحابة في الدوران وأخذت درجة حرارتها في الارتفاع وما كادت عملية التكاثر تقترب من نهايتها حتى كانت سرعة الدوران قد زادت لدرجة أدت إلى تفلطح القطبين ثم نمو قرص خارج خط الاستواء .

وبدأ القرص في الانفصال عن الشمس سالبًا منها جزءًا كبيرًا من عزم كمية الحركة الدورانية فأبطأت في دورانها حتى وصل لمعدله الحالي (٢ كم / ث عند خط الاستواء) بينما ابتعد القرص تدريجيا . هذا القرص هو الذى تكشفته منه السيارات فيما بعد ، وهنا تواجهنا صعوبات ثلاث :

أولها : لو أن مادة جميع السيارات قد جمعت وخلطت بمادة الشمس لكانت سرعة دورانها عند خط الاستواء ١٠٠ كم / ث بدلاً من سرعتها الحالية ، وهذه السرعة غير كافية لتكوين القرص المشار إليه . ولكن تتلاشى هذه الصعوبة أو تكاد إذا أخذنا في الاعتبار أن جزءًا كبيرًا من مادة السحابة لا يوجد الآن حول الشمس بل أفلت تمامًا من جذبها وانضم مرة أخرى إلى فضاء ما بين النجوم ، ويؤيد هذا التفسير ندرة الهيدروجين فى يورانوس ونبتون ، بينما يوجد فى المشتري وزحل اللذين يليانها تجاه الشمس بنفس النسبة تقريبًا التى يوجد بها فى الشمس .

اتجاه الدوران



أما الصعوبة الثانية : فتتعلق باستمرار انتقال الحركة الدورانية من الشمس إلى القرص بعد أن تباعد عنها شكل (٢٤) .

ويمكن التغلب على هذه الصعوبة بفرض أن خطوط قوى مجال الشمس المغناطيسى عملت كقضبان مرنة تصل الشمس بالقرص المنفصل عنها فتزيد من سرعته الدورانية فتدفعه بعيدًا عن الشمس ،

شكل (٢٤) انتقال الحركة الدورانية من الشمس إلى القرص الذى تكونت منه الكواكب

شكل (٢٥) نشوء

المجموعة الشمسية

(a) تبدأ سحابة غازية

كتلتها ٢ - ٤ كتلة

شمسية في الدوران ثم

التكثف .

(b) تكثف الجزء

الداخلي بسرعة كبيرة

مكوناً للشخص الوليدة

مع تكون قرص من الغاز

والغبار حولها .

(c) تصادمت دقائق

الغبار مع بعضها

وتجمعت في حبيبات أكبر

لتحافظ سريعاً تجاه

مستوى واحد .

(d) تجمعت الحبيبات

سويلاً مكونة لأحجار

فضية تماثل حجم

الكويكبات الحالية .

(e) تجمعت هذه الكتل

مكونة أجساماً في حجم

الكواكب .

(f) بدأت تلك الكواكب

الوليدة في تجمع ما

يحيط بها من غاز وغبار

من مادة السحابة .

(g) تحولت الرمام

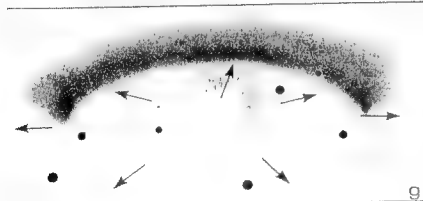
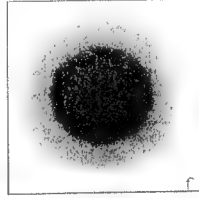
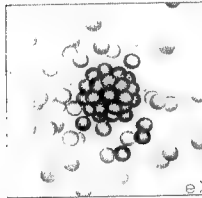
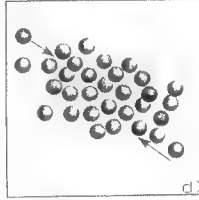
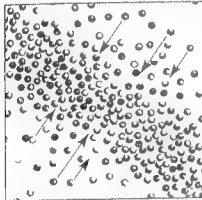
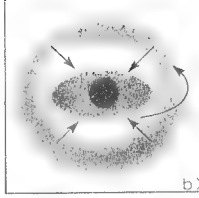
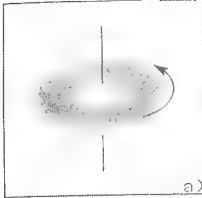
الشمسية الشديدة دفاً

الغبار والغاز الزائد

بعيداً .

وبذلك اكتمل تكون

الكواكب .



بينما تؤدي إلى إبطاء حركة الشمس وذلك لالتواء هذه الخطوط كنتيجة لدوران القرص بسرعة أقل من سرعة الشمس .

وثلاثة المصاعب : تتعلق بتركيب السيارات الأربع الداخلية والتي تتكون غالبيتها من الصخور والحديد بنسب تزيد كثيراً عن نسبها في السيارات الخارجية . وتفسير ذلك قد يكون في أن قوة دفع الازدواج المغناطيسي بين الشمس والقرص للمواد الغازية أكبر كثيراً منها لأي مواد صلبة أو سائلة تتكشف بأقطار تبلغ بضعة أمتار أو أكثر .

٥-١٥ المجموعات الشمسية الأخرى :

تشير النظريات الحديثة لعلم الأصول إلى أن وجود مجموعات كوكبية حول النجوم أمر عادي ، لكن يصعب رصدها لخفوتها نسبة لدرجة لمعان النجوم المصاحبة لها . وكما توجد كواكب في مدارات حول النجوم المفردة ، يمكن كذلك وجودها حول النجوم المزدوجة في مدارات شديدة القرب من أحد النجمين أو بعيداً عن كليهما .

وفي مجرتنا يحتمل وجود ما بين ٩١٠ - ١٠١٠ من النجوم المصحوبة بمجموعات كوكبية وقد اكتشفت مجموعات كوكبية أولية ، حيث اكتشفت أقراص من مادة قليلة الكثافة حول بعض النجوم السافعة ، لكن لا يمكن التيقن من نشوء كواكب داخل هذا الأقراص .

والخلاصة أن احتمال وجود مجموعات شمسية في أنحاء أخرى من الكون احتمال قائم ، إلا أننا لا يمكن أن نتأكد إلا من وجود مجموعتنا وليس غيرها .

خصائص مدارات الكواكب :

الكوكب	نصف القطر		الدورة التيجية		الدورة الاقترابية (يوم)	متوسط السرعة المدارية (كم/ث)	الاختلاف المركزي	الميل على الطائرة الكسوفية (درجة)
	وحدة فلكية	١٠ كم	سنة	يوم				
عطارد	٣٨٧٠٠٩٩	٥٧,٩	٠,٢٤٠٨٥	٨٧,٩٦٩	١١٥,٨٨	٤٧,٨٩	٠,٢٠٥٦	٧,٠٠
الزهرة	٠,٧٢٣٣٢٢	١٠٨,٢	٠,٠٦١٥٢١	٢٤٤,٧٠١	٥٨٣,٩٢	٣٥,٠٣	٠,٠٠٦٨	٣,٣٩
الأرض	١,٠٠٠٠٠٠	١٤٩,٦	١,٠٠٠٠٤	٣٦٥,٢٥٦	—	٣٢٩,٧٩	٠,٠١٦٧	—
المريخ	١,٥٢٣٦٨٨	٢٢٧,٩	١,٨٨٠٨٩	٦٨٦,٩٨٠	٧٧٩,٩٤	٢٤,١٣	٠,٠٩٣٤	١,٨٥
المشتري	٥,٢٠٢٥٦١	٧٧٨,٣	١١,٨٦٢٣	٤٣٣٢,٧١	٣٩٨,٨٨	١٣,٠٦	٠,٠٤٨٥	١,٣٠
زحل	٩,٥٥٤٧٤٧	١٤٢٩,٤	٢٩,٥٤٨	١٠٧٥٩,٥	٣٧٨,٠٩	٩,٦٤	٠,٠٥٥٦	٢,٤٩
يورانيوس	١٩,٢١٨١٤	٢٨٧٥,٠	٨٤,٠١	٣٠٦٨٥	٣٦٩,٦٦	٦,٨١	٠,٠٤٧٢	٠,٧٧
نبتون	٣٠,١٠٩٥٧	٤٥٠٤,٣	١٦٤,٧٩	٦٠١٩٠	٣٦٧,٤٩	٥,٤٣	٠,٠٠٨٦	١,٧٧
بلوتو	٣٩,٤٤	٥٩٠٠,١	٢٤٨,٥	٩٠٨٠٠	٣٦٦,٧٣	٤,٧٤	٠,٠٢٥٠	١٧,٢

خصائص السيارات النظمي	المشتري	زحل	يورانوس	نبتون	بلوتو
معكوس الكتلة (الشمس = ١) الكتلة (الأرض = ١) الكتلة (كجيم) ^٢ نصف القطر الاستوائي (الأرض = ١) نصف القطر الاستوائي (كم) الغلاف الكثافة المتوسطة (جم / سم ^٣) التناقل السطحي الاستوائي (جم / سم ^٣) سرعة الهروب الاستوائية (كم / ث) الدورة النجمية حول محور الكوكب عند خط الاستواء ميل مستوى الاستواء على مستوى المدار	١٠٤٧,٣٥٥ ٣١٧,٨٩٣ ٢٧١٠ × ١,٩٠٠ ١١,٢٧ ٧١٣٩٨ ٠,٠١٣٧ ١,٣١٤ ٢٢,٨٨ ٥٩,٥ ٩,٨٤١ ساعة	٣٤٩٨,٥ ٩٥,١٤٧ ٢١١٠ × ٥,٦٨٨ ٩,٤٤ ٦٠٣٣٠ ٠,١٠٢ ٦٩ ٩,٠٥ ٣٥,٦ ١٠,٢٣٣ ساعة	٢٢٨٦٩ ١٤,٥٤ ٢٥١٠ × ٨,٧٠ ٤,١٠ ٢٥٤٠٠ (٠,٠٢٤) (١,١٩) ٧,٧٧ ٢١,٢٢ ٢٣,٩٣٤٥ ساعة	١٩,٣١٤ ١٧,٢٣ ٢٦١٠ × ١,٠٣٠ ٣,٨٨ ٢٤٣٠٠ ٠,٢٦٦ ١,٦٦ ١١,٠٠ ٢٣,٦ ٢٧,٣٢٢ يوم	١٣٠٠٠٠٠٠٠٠٠ ٠,٠٢٢ ٢٢١٠ × ١,٣١ (٠,٣٤) (١٥٠٠) ٩ (٩) (٤) (١,١) ١,٣٨٧٤ ساعة ٥٠

القيم مأخوذة من الأقراص يتعدى الخطأ فيها ١٠٪ .



الفصل السادس

ظواهر فلكية

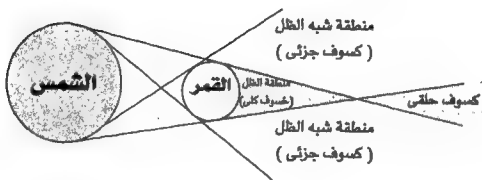
الخصوف والكسوف	١ - ٦
كسوف الشمس	١ - ١ - ٦
كسوف القمر	٢ - ١ - ٦
الاستتار والهبور	٢ - ٦
الفجر القطبي	٣ - ٦
الجنوع البروجي	٤ - ٦
الوهج المجاني	٥ - ٦
المذ والجزر	٦ - ٦

فى هذا الفصل نستعرض بعض أهم الظواهر الفلكية مثل الخسوف والكسوف والمد والجزر وغيرها من الظواهر الأقل شيوعاً .

٦-١ الكسوف والخسوف :

تحدث ظاهرة الخسوف (أو الكسوف) إذا وقع جسم فى منطقة ظل أو شبه ظل جسم آخر . فإذا حجب ظل القمر الشمس عن الأرض حجباً كاملاً أو جزئياً يحدث كسوف كلى أو جزئى للشمس ، أما إذا حجبت الأرض ضوء الشمس عن القمر كلياً أو جزئياً يحدث خسوف كلى أو جزئى للقمر .

٦-١-١ كسوف الشمس :



شكل (١) الظروف الهندسية لكسوف الشمس

يتراوح بعد القمر عن الأرض ما بين ٣٦٠ و ٤٠٥ ألف كم ، بينما يبلغ طول مخروط الظل الناتج عنه حوالى ٣٨٣ ألف كيلو متر ، وبذلك يمكن أن يصل إلى سطح الأرض . ومن الشكل يتضح أن الكسوف يحدث فقط عندما يقع القمر مباشرة بين الأرض والشمس ، أى قرب ميلاد الهلال الجديد ، لكن

الكسوف لا يحدث كل شهر لأن الاقتران في أول الشهر لا يعنى وقوع القمر على خط واحد مع الأرض والشمس ، فمدار القمر يميل على دائرة البروج بحوالى ٥ درجات ، وبذلك لا يقع القمر في مستوى البروج إلا عندما يمر بعقدتى المدار . وبذلك لا يحدث الكسوف إلا إذا تحقق الشرطان الآتيان :

- (i) يكون القمر عند مولد الهلال الجديد قريبا من إحدى هاتين العقدتين .
- (ii) يكون بعده عن الأرض مناسباً لوقوع ظلّه عليها (أقرب من ٣٨٣ ألف كم) .

وجدير بالذكر أن تعقيدات حركة القمر لها دور كبير في حدوث أو عدم حدوث الكسوف ، ومن أبرز العوامل المؤثرة في هذا الصدد أن العقدتين تتحركان على دائرة البروج حركة تراجعية (أى تجاه الغرب) بحيث تكملان دورة كل ١٨,٦ سنة تقريبا .

ظروف الكسوف :

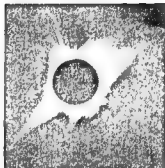
يتحرك ظل القمر على الأرض بسرعة كبيرة تصل إلى حوالى ١٧٣٠ كم/ ساعة عند خط الاستواء وتزداد في العروض العالية ، وهذا يتسبب في قصر فترة الكسوف حتى أن الكسوف الكلى لا يستمر أبدا لأكثر من ٧,٥ دقيقة . وعلى جانبي منطقة الكسوف الكلى يمتد الكسوف الجزئى لحوالى ٣٠٠٠ كم ، بينما لا يستعدى عرض مسار الكسوف الكلى كثيراً حوالى ٢٦٩ كم ، وهذا هو أقصى عرض له عندما يقع عموديا على خط الاستواء . أما في العروض الأخرى فإنه يزداد قليلا .

ويتضح من شكل (١) أن الكسوف إذا كان كليا فلا بد أن يسبقه ويعقبه كسوف جزئى (شكل ٢) .

وإذا كان القمر بعيدا بعض الشيء عن الأرض بحيث يكون جزء من الأرض داخل المنطقة A ، شاهد سكان هذا الجزء كسوفاً حلقياً للشمس فيختفى جزء من قرصها خلف القمر فلا يبدو غير حلقة خارجية مضيئة تحيط بالقرص المظلم (شكل ٢) . وحيث إن قطر مخروط ظل القمر أقل من قطر القمر (٣٤٧٦ كم) بينما قطر الأرض ١٢٦٥٦ كم ، يحدث الكسوف الكلى أو الحلقي في منطقة صغيرة تتحرك على سطح الأرض مع حركة القمر بالنسبة لها بسرعة أكبر من ٣٤ كم / دقيقة .



(ب)



(ا)

شكل (٢) (ا) كسوف كلي للشمس وتلاحظ الكورونا (الإكليل الشمسى)

حول قرص الشمس الذى حجبه القمر .

(ب) كسوف جزئى ويلاحظ بحدبه وانحناءه بكسوف جزئى .

وفى أثناء فترة الكسوف الكلى يمكن أن تشاهد النجوم فى السماء كما تظهر المنطقة الخارجية من جو الشمس والمساء بالاكليلى الشمسى . ومن الطريف أن بعض أنواع الزهور تغمض قبل بدء الكسوف مباشرة كما تبدى بعض الطيور سلوكا غير معتاد .

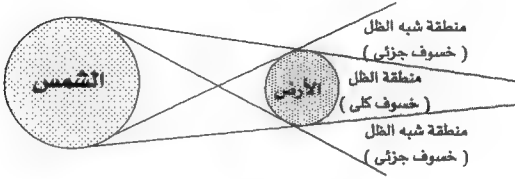
ومن الجدير بالذكر التحذير من النظر للشمس أثناء الكسوف إلا من خلال رجاس شديد الإعتام ، وإلا تعرضت شبكية العين لأخطار محدقة .

٦-١-٢ خسوف القمر :

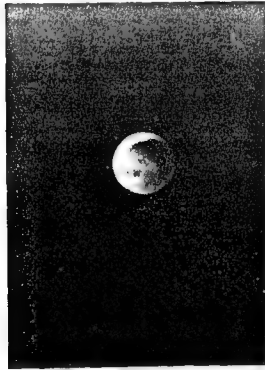
يحدث خسوف القمر عندما يدخل فى منطقة ظل الأرض ، ويتضح من شكل (٢) أن هذا يحدث عندما تقع الأرض بين القمر وبين الشمس ، أى عندما يكون القمر بدرا .

وظل الأرض يمتد لحوالى ١,٣٨ مليون كم ؛ ولذلك لا يمكن حدوث خسوف حلقى للقمر ، وبذلك فخسوف القمر إما جزئى أو كلى . وعند مدار القمر يصل قطر مخروط ظل الأرض لحوالى ٩٢٠٠ كم ، ولذا يسهل كثيرا دخول القمر فى هذا المخروط مما يجعل معدل حدوث الخسوف القمري أكثر

بصورة ملحوظة من معدل حدوث كسوف الشمس ، ويصل مخروط شبه ظل الأرض لحوالى ١٦٠٠٠ كم .



شكل (٣) الظروف الهندسية لكسوف القمر



شكل (٤) كسوف كلى للقمر يقيم فيه القمر عند مركز الظل

وقبل أن تبدأ حافة القمر دخول منطقة الظل بحوالى ٢٠ دقيقة يبدأ ضوءه فى الخفوت بدرجة ملحوظة . وكسوف القمر (الجزئى ثم الكلى ثم الجزئى) يمكن أن يستمر حوالى ٦ ساعات، لكن لا تستعدى فترة الخسوف الكلى ١ س ، ٤٠ ق .

ولا يمكن رؤية الخسوف الجزئي بالعين المجردة أما خلال الخسوف الكلى فيكتسى القمر بلون أحمر داكن بسبب انكسار بعض الضوء الأحمر في جو الأرض (شكل ٤) .

ولو كان مستوى مدار القمر ينطبق على المستوى الكسوفي لحدث كل شهر خسوف شمسي وخسوف قمرى لكن لميل هذا المدار يجب أن يقل بعد القمر عن العقدة عن ٤,٦ كى يحدث خسوف كلى للقمر ، وأن يقل عن ١٠,٣ كى يحدث خسوف كلى للشمس .

وأكبر عدد لمرات حدوث الخسوف والكسوف لا يتعدى ٧ مرات فى السنة ، أما أقل عدد فهو خسوفان ، وفى هذه الحالة يكونان قمرين . وعادة يحدث الخسوف والكسوف فى مجموعة من ١ - ٣ يفصل بينها فترة ١٧٣ يوما ، ويكون ترتيب المجموعة إما : خسوف شمسي واحد ، أو خسوف شمسي ثم خسوف قمرى ثم خسوف شمسي آخر . وفى خلال العام تتكرر ظاهرة الخسوف والكسوف بما يعادل مجموعتين أو ثلاث من هذه المجموعات .

ويلزم لحساب معدل تكرار الخسوف والكسوف بنفس الترتيب حساب معدل حركة الشمس بالنسبة لعقدة مدار القمر على المستوى الكسوفي :

تتحرك عقدة المدار غربا لتكمل دورة كل ١٨,٦ سنة $p =$

السنة النجمية ٣٦٥,٢٥٦٤ يوم $y =$

ولو كانت دورة الشمس بالنسبة للعقدة $T =$ فإن :

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{p} + \frac{1}{y}$$

ومنها $T = 346,62$ يوما .

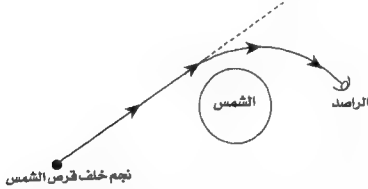
ويمكن بسهولة التحقق من أن :

$19 T \approx 223$ شهر اقترانى (٢٩,٥٣ يوم) .

ومعنى هذا أن وضع الشمس بالنسبة للقمر يتكرر تماما بعد مرور هذه الفترة أو مضاعفتها ، وبالتالي يتكرر الخسوف والكسوف بنفس الترتيب . وتسمى هذه الدورة « ساروس Saros » .

ويستفاد من رصد ظواهر الكسوف والخسوف فى أمور كثيرة كان أبرزها التحقق من صحة ما ذهب إليه نظرية النسبية العامة لاينشتين من أن أشعة الضوء

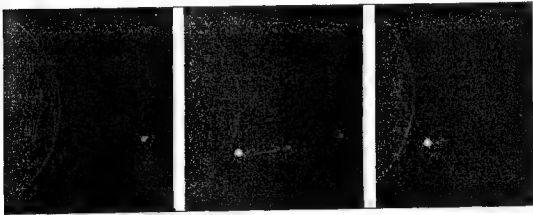
تتشى بتأثير مجالات الثقالة القوية . فقد أمكن خلال الكسوف الكلى للشمس رصد نجوم المفروض أنها تختفى خلف قرص الشمس (شكل ٥) .



شكل (٥) ظهور النجوم الواقعة خلف الشمس أثناء الكسوف الكلى

٦-٢ الاستتار والعبور:

يحدث الاستتار عندما يمر جسم أمام آخر فيحجبه خلفه . وأشهر أمثلته اختفاء كوكب أو نجم خلف القمر (شكل ٦) ، وقد كانت أرصاد استتار النجوم خلف القمر تستخدم في دراسة مدار القمر ، كما استفاد منها المتخصصون في الفلك الراديوى لتحديد موقع المصادر الراديوية بدقة . وفي الوقت الحالى تستخدم تلك الأرصاد لدراسة دوران الأرض ، وأقطار النجوم والبحث عن النجوم المزدوجة .



شكل (٦) مجموعة صور توضح (من الشمال إلى اليمين) خروم المشتري وثلاثة من أقماره بعد استتارهم خلف القمر

وحيث إن القمر يتحرك شرقاً ، وخلال التربع الأول يقع الجزء المضيء منه تجاه الغرب ، فإن النجوم خلال تلك الفترة تستتر خلف حافة القمر المظلمة . لذا يسهل رصد الاستتار خلال تلك الفترة بينما يصعب رصد ظهور الجرم فور خروجه من خلف القمر .

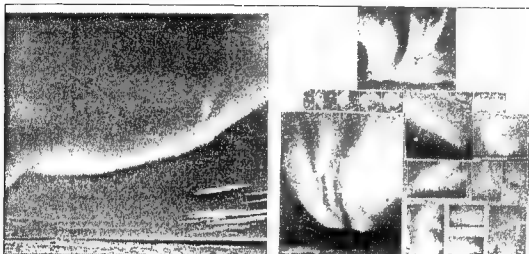
وتحدث عملية الاستتار كذلك خلف الكواكب والكويكبات ، إلا أنها تكون شديدة التعقيد حيث ترى فقط في مسار ضيق جداً .

أما العبور فهو مرور عطارد أو الزهرة عبر قرص الشمس ، ويحدث هذا عندما يكون أيهما بالقرب من عقدة مداره على المستوى الكسوفى لإبان فترة الاقتران السلفى . ويحدث عبور عطارد ١٣ مرة كل قرن ، بينما يحدث عبور الزهرة مرتين فقط . وأقرب عبور لعطارد في ١٥ نوفمبر سنة ١٩٩٩ و ٧ مايو سنة ٢٠٠٣ و ٨ نوفمبر سنة ٢٠٠٦ و ٩ مايو سنة ٢٠١٦ و ١١ نوفمبر سنة ٢٠١٩ م . بينما تعبر الزهرة في ٨ يونيو سنة ٢٠٠٤ و ٦ يونيو سنة ٢٠١٢ و ١١ ديسمبر سنة ٢٠١٧ م .

٦-٣ الفجر القطبي :

الفجر القطبي من أهم ظواهر السجو العلوى وهو يسمى كذلك « الأورورا » أو الوهج القطبي أو أنوار الشمال ، وهو يشاهد في المناطق القريبة من القطبين على هيئة خيوط أو ستائر تتدلى من السماء بألوان جذابة وتشكيلات مختلفة (شكل ٧) .

وتشاهد الظاهرة على ارتفاعات تمتد من نحو ١٠٠ كيلو متر إلى ١٠٠٠ كيلو متر فوق سطح الأرض ، حيث ترى بكثرة في المناطق ذات العروض الأعلى من ٤٥° خصوصاً في أواخر الخريف وأوائل الربيع . ويستطيع سكان المناطق القريبة من عرض ٤٥° أن يروا الوهج القطبي نحو خمس عشرة مرة خلال العام ثم يقل معدل رؤيتها حتى تكاد تنعدم عند خط عرض ٣٥° . وتسمى الظاهرة التي تحدث في المناطق الشمالية « أورورا بوريسالس » أى « فجر الشمال » ، أما تلك التي تحدث في المناطق الجنوبية فتسمى « أورورا أوسترالس » أى « فجر الجنوب » ويشاهد الفعجران معا في آن واحد .



شكل (٧) صور مختلفة لما يبدو به الفجر القطبي (الأورورا)

وصور فجر الشمال متعددة لا يمكن حصرها ، وتتراوح ما بين وهج خافت فى سماء الشمال أو الجنوب ، أو كقوس عظيم من الأنوار الخافتة تتذبذب ببطء وينبعث منها من آن لآخر ما يشبه الأنوار الكاشفة تمتد حتى السمى ، كما أنه قد تبدو كما ذكرنا فى صورة ستائر عظيمة ملفوفة تتدلى من السماء وتتموج مع الرياح مغيرة من أشكالها وألوانها وقد يملأ نورها كل السماء .

وتكاد أنوار الشمال ترى كل مساء من الاسكا وكندا وجرينلاند ، وقد لوحظ زيادة شدتها مع ازدياد النشاط الشمسى ، حيث تحدث ظواهر متميزة من الفجر القطبي بعد ٢٠ - ٣٠ ساعة من رصد بقع شمسية شديدة .

ويعزى تكون هذه الأضواء لتفاعل الجسيمات المشحونة من الشمس مع مجال الأرض المغناطيسى ، فخطوط قوى هذا المجال تنحني عند القطب لأسفل حتى تصل قرب سطح . والكهرباء فى الرياح الشمسية تتبع خطوط المجال وتنساب معها فتتجمع عند القطبين المغناطيسيين فيتسبب تصادمها مع الأيونوسفير فى انبعاث هذه الأضواء .

٦- ٤ الضوء البروجي :

الضوء البروجي وهج ضوء خافت على احتواء دائرة البروج (أى الدائرة الكسوفية وتقع ألمع أجزائه قرب الشمس ، وأفضل ظروف رؤيته فى الغرب بعد ساعات قليلة من غروب الشمس ، أو فى الشرق قبل شروقها . والضوء البروجي فى أفضل حالاته يماثل ضوء الطريق اللبنى فى لمعانه . ويسمى الضوء البروجي أحيانا بالفجر الكاذب لظهوره فى الصباح قبل أن يبدأ الشفق ، إلا أن التمييز بينهما يسهل لو لاحظنا أن الضوء البروجي يرتفع لأعلى بشكل هرمى (شكل ٨) حيث تسببه المادة ما بين الكواكب ، بينما يمتد الشفق الحقيقى أكثر التزاما بمحاذاة الأفق ، حيث ينشأ من تشتت ضوء الشمس على مكونات الغلاف الجوى للأرض ، ويرتفع فوق الأفق لدى اقتراب الشمس منه .



شكل (٨) الضوء البروجي

وطيف الضوء البروجي مماثل لطيف الشمس مما يشير إلى أنه ضوء للشمس انعكس وتشتت على مكونات المادة ما بين الكواكب . وحيث إن تلك المادة تتركز قرب المستوى الكسوفى فإما تعكسه دقائق تلك المادة من ضوء يكون على امتداد دائرة البروج .

وقد وجد أن الجزء الخارجى من الإكليل الشمسى (الفصل السابع) والمسمى « إكليل F » يمتد تسع درجات من الشمس ويطفه مماثل لطيف ضوء البروج ، لذا فإن البعض يرى أنه امتداد لهذا الإكليل الخارجى ، وأن هذا الإكليل الخارجى ضوء للشمس تشتت على المادة ما بين الكواكب .

٦-٥ الوهج المضاد :

هو وهج ضوء خافت في المستوى الكسوفى تماما فى عكس اتجاه الشمس ، وهو يمتد ما بين ٨ إلى ١٠ درجات فى اتجاه وما بين ٥ إلى ٧ درجات فى الاتجاه العمودى ، ورصده أصعب كثيرا من رصد الضوء البروجى ، لكن يمكن قياسه بالطرق الكهروضوئية وكذلك أمكن تصويره (شكل ٩) .

إذا درسنا حركة جسم مهمل الكتلة تحت تأثير جذب كل من الشمس والأرض فإنه توجد لهذه الحركة خمس نقاط اتزان يثبت عندها أو يتذبذب حولها الجسم المتحرك . إحدى هذه النقاط تقع على الخط الفاصل بين الأرض والشمس فى عكس اتجاه الشمس تماما ، فإذا ما كان الجسم المتحرك شهابا تستوفى حركته الشروط المطلوبة فإنه يدور عدة دورات حول تلك النقطة قبل أن يتركها سابحا فى الفضاء ، ويفسر الوهج المعتاد بأن عددا كبيرا من هذه الشهب يتجمع حول تلك النقطة فينعكس ضوء الشمس عليه ويتشتت مسببا لهذا الوهج الخافت .



شكل (٩)

الوهج المضاد

(بقعة الضوء شمس وأسفل

المركز) والطريق اللبنى

٦-٦ المد والجزر :

عندما يقع جسم ممتد في مجال تناقل خارجي ، فإنه يتعرض لما يسمى قوى المد . تنتج هذه القوى لاختلاف أبعاد أجزاء الجسم المختلفة عن مركز التناقل الخارجى وبالتالي اختلاف القوى التى تتعرض لها أجزاء الجسم المختلفة ، وقوى المد يمكن أن تؤدي لتمزق الجسم وقد تكون الحلقات حول السيارات العظمى نتيجة لمثل هذه القوى .

وأشهر أمثلة المد هو ما يحدث لمحيطات الأرض من ارتفاع وانخفاض فى مستوى سطحها بسبب اختلاف قوى جذب كل من الشمس والقمر على أجزاء الأرض المختلفة ، وهذه الظاهرة معروفة منذ القدم إلا أنها لم تجد تفسيراً إلا باستخدام قانون التناقل العام لنيوتن .

وقوى المد قوى تناقل تفاضلية ؛ فمثلاً يجذب أى من القمر أو الشمس جزء الأرض المواجه له بقوة تزيد عن الجذب الواقع على مركزها ، بينما يقل الجذب الواقع على الجزء البعيد عن ذلك الواقع على المركز فإذا كان r بعد القمر أو الشمس عن مركز الأرض تكون قوة التناقل ببساطة :

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

حيث G الثابت العام للتناقل بينما m ، M كتلتى الأرض والقمر (أو الشمس) على الترتيب .

فإذا تغير البعد بمقدار dr تتغير F بمقدار :

$$dF = - \frac{2GMm}{r^3} dr \quad (1)$$

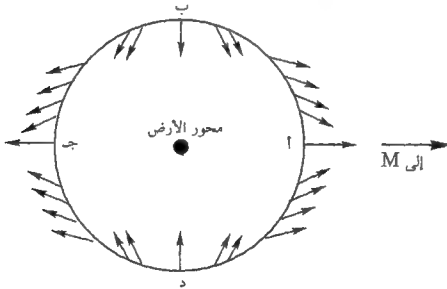
وحيث إن بعد القمر (حوالى ٤٠٠ ألف كيلو متر) يقل كثيراً عن بعد الشمس (حوالى ١٥٠ مليون كيلو متر) فإنه المسبب الرئيسى لظاهرة المد والجزر التى تحدث فى المحيطات ونظيرتها التى تحدث فى الغلاف الجوى للأرض .

وفى حالة ظواهر المد والجزر على الأرض تعرف قوة المد بأنها الفارق بين قوة التناقل المؤثرة على سطح الأرض وتلك المؤثرة على مركزها . وبالإضافة

لهذه القوة الأساسية هناك قوى ثانوية تزيد كثيرا من تعقيد حسابات المد والجزر وهى :

- القوى الناتجة عن دوران الأرض حول محورها .
- القوى الناتجة عن دوران مجموعة الأرض والقمر حول الشمس .
- القوى الناتجة عن دوران المجموعة الشمسية .
- وجود التضاريس التى تعوق حركة المياه .
- قوى الاحتكاك .
- تأثير الرياح .

ولتصور كيف يحدث المد والجزر نستعرض قوى المد الناتجة من جسم M كما فى شكل (١٠) . بتحليل هذه القوى فى الاتجاه المماس لسطح الأرض والاتجاه العمودى عليه نجد أن المياه تنساب فى اتجاه M والاتجاه المضاد له فيرتفع سطح الماء حول أ ، جـ فيحدث فى هاتين المنطقتين ، بينما ينحسر حول ب ، د فيحدث عندهما جزر . وبذلك يتكرر المد مرتين فى نفس المنطقة يوميا ، عندما تواجه القمر ، وعندما تقع فى الناحية المضادة له .



شكل (١٠) قوى المد على سطح الأرض وعند خط الاستواء الناتجة عن جسم بعيد M

ويمكن إثبات أن الفارق في مستوى سطح الماء مناطق الجزر يعطى

بالعلاقة :

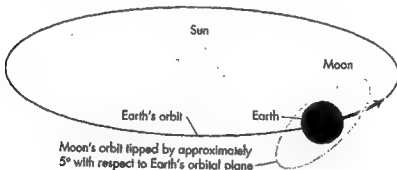
$$\Delta h = \frac{3}{2} \frac{M}{M_e} \frac{R_e^4}{r^3} \cos^2 \Phi \quad (2)$$

حيث M كتلة الجسم المحدث للمد ، M_e كتلة الأرض بينما R_e و r نصف قطر الأرض وبعد مركزها عن M و Φ عرض المكان ، ويوضح شكل (١١) توزيع المياه على سطح الأرض ووقت حدوث المد والجزر إذا كان M واقعاً في مستوى خط الاستواء ، بينما يوضح شكل (١٢) توزيع المياه عندما يكون M خارج خط الاستواء ، في الحالة الأولى يكون انبعاج شكل المحيطات نتيجة للمد على شكل قطع ناقص دوراني محوره الأكبر تجاه M ، أما في الحالة الثانية فإن هذا المحور يميل على خط الاستواء بمقدار ميل M عليه ، ويؤدي هذا كما يتضح من شكل (١٢) أن المد في المنطقة التي تواجه M يكون أعلى منه في تلك المضادة لاتجاه M وبذلك يختلف ارتفاع المدّين اللذين يحدثان خلال اليوم.

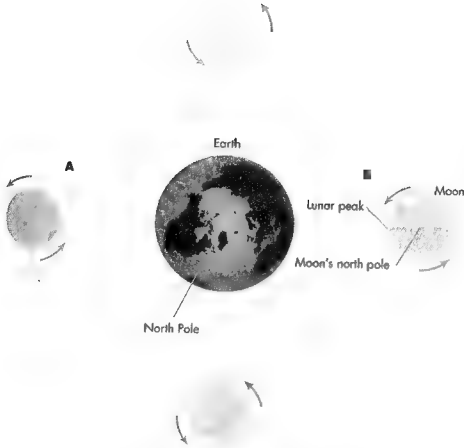
وبرغم كبر كتلة الشمس بالنسبة لكتلة القمر إلا أن بعدها الكبير عن الأرض مقارنة بعد القمر يجعل تأثير القمر حوالى ٢,٢ ضعف تأثير الشمس ، ويتضح من المعادلة (١) أن أعلى مد يكون عند خط الاستواء ($\Phi = 0$) وقدره :

$$\Delta h_c = \frac{3}{2} \left(\frac{1}{81.5} \right) \left(\frac{6378}{384000} \right)^3 (6378 \times 10^3) = 0.54 \text{ m}$$

$$\Delta h_{\odot} = 0.24 \text{ m}$$



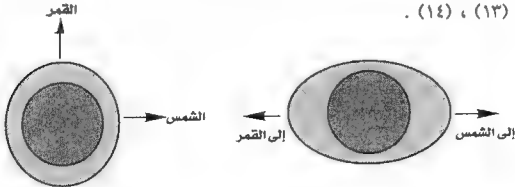
شكل (١١) المد والجزر (M في مستوى الاستواء)



شكل (٧٢) المد والجزر (M) خارج مستوى الاستواء

ويعتمد ارتفاع المد الناتج من مدى الشمس والقمر على وضعهما بالنسبة للأرض فيكتسب أعلى قيمة عندما يقع كل من الشمس والقمر والأرض على خط واحد (أو على خط قطر واحد تقريبا بسبب ميل القمر على دائرة الكسوف) أي عند مولد الهلال، وعندما يكون القمر بدرا حيث يكون المد المحصل مجموع المد الناتج عن القمر وذلك الناتج عن الشمس، ويسمى في هذه الحالة المد الكامل (Spring tide).

أما في التربيعين الأول والثاني فيكون المد المحصل هو الفارق بين مدى القمر والشمس ويسمى مدا منخفضا (Neap tide). ويتضح هذا من شكلتي (١٣)، (١٤).

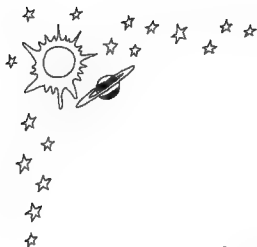


شكل (٧٤) المد المنخفض

شكل (٧٣) المد الكامل

وحيث إن القمر يمر في المتوسط فوق أى نقطة على سطح الأرض كل ٢٤ ساعة و ٥٥ دقيقة فإن المد العالى يحدث كل ١٢ ساعة و ٢٧,٥ دقيقة ويتأخر كل يوم عن اليوم السابق بمقدار حوالى ٥٥ دقيقة ويتراوح مدى ارتفاع المد من منطقة لأخرى على سطح الأرض بدرجة كبيرة . وجدير بالذكر أن الأرض ليست تامة الصلابة ، ولذا فإنها تستجيب لقوى المد بقيمة أقصاها حوالى ٩ بوصات .

وتتسبب قوى الاحتكاك بين الماء وقاع المحيط أثناء المد والجزر فى فقد الأرض للطاقة بمعدل حوالى ٢٠٠ مليون حصان ؛ وهذا يتسبب فى إبطاء دورانها حول محورها بمعدل ٤,٤ × ١٠^{-٨} ثانية فى كل دورة أى حوالى ٢٨ ثانية كل قرن وقد تأيد هذا بالأرصاد . وحيث إن عزم الحركة الدورانية لمجموعة الأرض والقمر لا يتغير ، يؤدى هذا النقص كمية الحركة الزاوية للأرض فى زيادة كمية حركة دوران القمر فى مولده بنفس القدر فينتج عنه زيادة متوسط بعد القمر عن الأرض ويقدر هذا بحوالى ١ سم فى كل دورة للقمر حول الأرض .



الفصل السابع

الشمس

التركيب الداخلي	١-٧
جو الشمس	٢-٧
النشاط الشمسي	٣-٧

الشمس أقرب النجوم إلينا ، وإضافة لكونها دعامة الحياة على الأرض فهي هامة بقدر كبير للفلك حيث تيسر دراسة ما لا يمكن دراسته بصورة مباشرة فى النجوم البعيدة . ومعلوماتنا الحالية عن الشمس مبنية على الأرصاد وعلى الدراسات النظرية .

٧-١ التركيب الداخلى :

الشمس نموذج من نجوم التتابع الرئيسى (انظر الفصل الرابع) ، ويمكن إيجاز خصائصها الأساسية فى الآتى :

الكتل $m = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg} = 330000$ (كتلة أرضية)

نصف القطر $R = 6.960 \times 10^8 \text{ m}$

الكثافة المتوسطة $P = 1409 \text{ kg / m}^3$

الكثافة المركزية $P_c = 1.6 \times 10^5 \text{ kg / m}^3$

النورانية $L = 3.9 \times 10^{26} \text{ w}$

درجة الحرارة الفعالة $T_e = 5785 \text{ k}$

درجة الحرارة المركزية $T_c = 1.5 \times 10^7 \text{ k}$

القدر البولومتري المطلق $M_{bol} = 4.72$

القدر البصري المطلق $M_v = 4.79$

الصنف الطيفي $G 2 V$

المعاملات اللونية $B - V = 0.62 , u - B = 0.10$

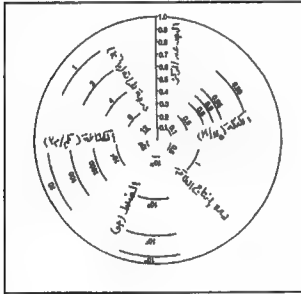
طول الدورة عند خط الاستواء 25 day

عند عرض ٦٠° 29 day

وتنتج الشمس طاقتها بتفاعلات نووية اندماجية فى منطقة صغيرة تحيط بمركزها حيث تنتج ٩٩ ٪ من طاقتها فى كرة قطرها ربع قطر الشمس . وشكل (١) يوضح توزيع الخصائص الفيزيائية المختلفة داخل الشمس .

وتنتج الشمس الطاقة بمعدل 4×2610 وات وهو ما يعادل تحويل حوالى ٤ مليون طن من كتلتها إلى طاقة كل ثانية ، ومع هذا لم يستنفد من كتلتها طوال عمرها على التابع الرئيسى غير ١ ٪ .

وعندما تكونت الشمس منذ حوالى ٥٠٠٠ مليون سنة كان تركيبها الكيميائى بصورة عامة مماثلا لتركيب سطحها الحالى . وحيث إن إنتاج الطاقة يتركز قريبا جدا من مركزها يستنفد الهيدروجين هناك بأسرع معدل ، بينما تماثل وفترته عند ربع البعد عن المركز وفترته على السطح . وفى اللب المركزى يمثل الهيدروجين حوالى ٤٠ ٪ فقط من تركيبه . وقد تحول حوالى ٥ ٪ من هيدروجين الشمس إلى هيليوم ، ومن المعروف أن أول اكتشاف للهيليوم كان فى طيف الشمس فى أواخر القرن الماضى .



شكل (١) توزيع درجات الحرارة والضغط ومعدل إنتاج الطاقة والكثافة والكثافة كدالة فى البعد عن المركز داخل الشمس

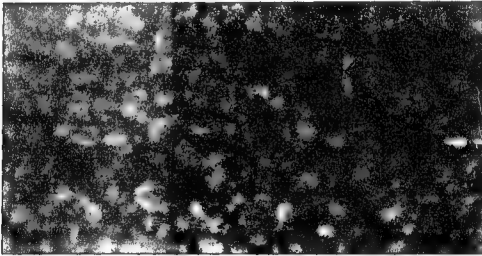
والجزء المشع المركزى فى الشمس يمتد حتى حوالى ٧٠ ٪ من نصف قطرها ، عند هذا البعد تهبط درجة الحرارة لدرجة لا تتيح للنشرات أن تظل فى حالة تأين كامل . وعندما تزداد كثافة الشمس بشدة فتمنع تقدم الإشعاع ، وبالتالي يصبح الحمل عاملا أكثر فعالية لانتقال الطاقة . ولذلك فللشمس وشاح تتقل فيه الطاقة بالحمل .

٧-٢ جو الشمس :

يتكون جو الشمس من الفوتوسفير والكروموسفير ، وخارج الجو الفعلى تمتد الكورونا (الإكليل الشمسى) للخارج كثيرا .

الفوتوسفير: (الطبقة المضيئة)

هو الطبقة الداخلية من جو الشمس ولا يتعدى سمكه حوالى ٣٠٠ - ٥٠٠ كم . والفوتوسفير هو سطح الشمس المرئى حيث تزداد الكثافة سريعا للداخل فتحجب باطن الشمس عن الرؤية . ودرجة حرارة السطح الداخلى للفوتوسفير ٨٠٠٠ درجة مطلقة ، أما عند سطحها الخارجى فدرجة الحرارة $4500^{\circ}K$. وإذا نظرنا تجاه حافة الشمس فإننا نرى فقط الطبقات الخارجية الأكثر برودة ، والذي تبدو الحافة أقل فى الإضاءة ، وهو ما يطلق عليه « إظلام الحافة » ، ويتكون فى الفوتوسفير كل من الطيف المستمر وطيف الامتصاص الخطى .



شكل (٢) الفوتوسفير والتجيبات فى سطح الشمس ، وهي تلتج من الغاز المناسب للظلام . وقطرها السائد حوالى ١٠٠٠ كم

والحمل فى الشمس يظهر على سطحها فى صورة تجيبات (شكل ٢) تتج بامتداد . وفى مركز التجيبات المضىء تصعد الغازات لاعلى لتعود للهبوط عند الحواف المعتمة لتلك التجيبات . وقطر هذه التجيبات من على سطح الأرض حوالى ١' أو حوالى ١٠٠٠ كم . وتوجد تجيبات فائقة تتج من تيارات حمل واسعة النطاق وتمتد كل منها حوالى ١' (حوالى ٦٠٠٠٠ كم) .

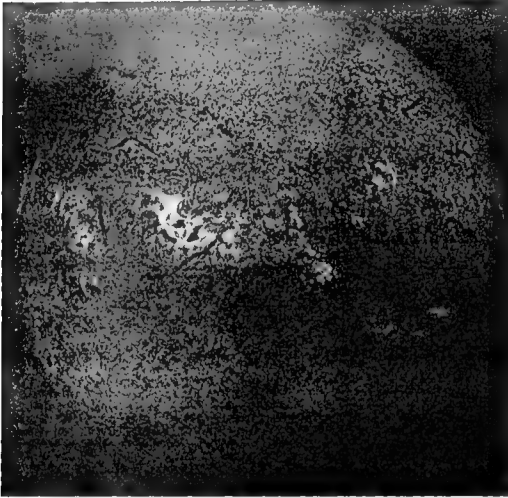
الكروموسفير:

يقع خارج الفوتوسفير طبقة سمكها حوالى ٥٠٠ كم ترتفع درجة الحرارة خلالها من ٤٥٠٠ K إلى حوالى ٦٠٠٠ K وهى طبقة الكروموسفير (الطبقة الملوثة) .

يقع خارج هذه الطبقة طبقة انتقالية سمكها عدة آلاف من الكيلو مترات ينتقل الكروموسفير خلالها تدريجيا إلى الكورونا ، وفى الأجزاء الخارجية من هذه المنطقة تصبح درجة الحرارة الحركية حوالى مليون درجة مطلقة .

ولإشعاع الكروموسفير أضعف كثيرا من إشعاع الفوتوسفير ، ولذلك فهو طبقة غير مرئية لكنه يسطع لعدة ثوان أثناء الكسوف الكلى للشمس عندما يختفى الفوتوسفير تماما خلف القمر ويكون فى شكل حلقة رفيعة مائلة للاحمرار . كذلك يمكن خلال الكسوف رصد طيف الكروموسفير المسمى «طيف الوميض» ، وهو طيف انبعاث خطى تم التعرف على أكثر من ٣٠٠٠ خط فيه ألمعها خطوط الهيدروجين والهيليوم وبعض المعادن .

ومن أقوى الخطوط فى طيف الكروموسفير الخط H α عند الطول الموجى ٦٥٦,٣ mm هذا الخط شديد العتامة فى طيف الشمس المعتادة لذلك يظهر الكروموسفير فى الصور المأخوذة من هذا الطول الموجى (شكل ٣) وفى هذه الصور يظهر سطح الشمس كقرص مبرقش متموج ، أجزاءه اللامعة فى حجم الحبيبات الفائقة وتحدها السنييلات ، هذه الأخيرة تبدو كمشاعل تعلق لحوالى ١٠٠٠٠ كم فوق الكروموسفير وتستمر دقائق قليلة ، وهى تبدو فوق سطح الشمس المضيء كخطوط معتمة ، أما عند الحواف فتبدو كمشاعل مضيئة (شكل ٤) .



شكل (٣) سطح الشمس في هذا المهدومين وتظهر المناطق النشطة قرب هذا الاستواء لا معة . أما الفتائل الداكنة فهي أسلة من الذهب



شكل (٤) السليولات ، ما يشبه المشاعك ترتفع بالقرب من حافة قرص الشمس

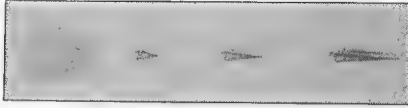
الكورونا (الهالة أو الإكليل) :

ترى خلال الكسوف الكلى كهالة من الضوء تمتد للخارج مسافات تصل لمرات قليلة مثل نصف قطر الشمس . ويعادل لمعان سطحها تقريبا لمعان القمر ولذلك تصعب رؤيتها مع الفوتوسفير (شكل ١٢) .

يسمى الجزء الداخلى منها (كورونا K) له طيف مستمر تكون نتيجة تشتت ضوء الفوتوسفير بواسطة الإلكترونات ، ثم على بعد قليل من أنصاف أقطار الشمس تأتى كورونا F التى يحتوى طيفها على خطوط امتصاص فرشهوفر ، وضوء كورونا F هو ضوء الشمس تشتت على الغبار . ويشير طيف الكورونا إلى أن درجة حرارة الكورونا حوالى مليون درجة .

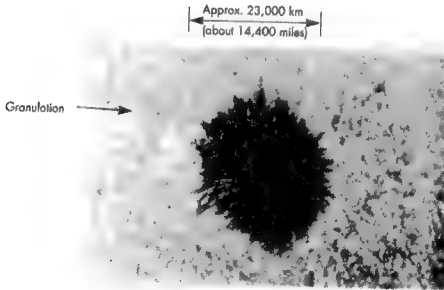
ولكى تحافظ الكورونا على درجة حرارتها المرتفعة يجب أن يوجد مصدر إمداد دائم بالطاقة . وتبعاً للنظريات الأقدم كان يعتقد أن هذه الطاقة تأتى فى صورة موجات تصادمية صوتية أو هيدرومغناطيسية تتكون بالحمل عند سطح الشمس . إلا أن النظريات الأحدث ترى أنها نتاج تسخين تيارات كهربية يحدثها التغير فى المجالات المغناطيسية ، أى أنها تشبه ما يحدث فى المصباح الكهربى المعتاد .

وبرغم هذه الحرارة المرتفعة فإن الغاز فى الكورونا مخلخل بدرجة تجعل مجمل الحرارة المختزنة فيها صغيراً ، فهى دائمة الانسياب للخارج لتتحول تدريجياً إلى رياح شمسية وهى التى تحمل فيضاً من الجسيمات بعيداً عن الشمس . وما يفقد من غاز بهذه الطريقة يتم تعويضه بمادة جديدة من الكروموسفير وبالقرب من الأرض تصل كثافة الرياح الشمسية لحوالى ٥ - ١٠ جسيمات / سم^٣ وسرعتها حوالى ٥٠٠ كم / ث . ومجموع ما تفقده الشمس بواسطة الرياح الشمسية حوالى ١٠-١٣ من كتلتها كل عام .



٢-٧ النشاط الشمسي :

البقع الشمسية : هي أوضح ما نرى من علامات نشاط الشمس (شكل ٥)، وقد عرفت منذ زمن بعيد لأن أكبرها يمكن أن يرى بالعين المجردة لو نظرنا للشمس من خلال طبقة كثيفة من الضباب أو من خلال مرشح ضوئي داكن . وقد بدأت الأرصاد الأكثر دقة في القرن السابع عشر عندما استخدم جاليليو المنظار في الأرصاد الفلكية .



شكل (٥) البقع الشمسية ، أقدم ما عرفنا من نشاط الشمس

والبقعة الشمسية عبارة عن شكل غير منتظم على سطح الشمس تبدو كما لو كانت خرقعة بالية أو ثقباً أشعث في السطح . وهي تتكون من جزء داخلي داكن يسمى منطقة الظل محاط بجزء أقل دكاًنة يسمى شبه الظل . وإذا نظرنا لبقعة تقع بالقرب من حافة قرص الشمس فلنلاحظ أنها منخفضة قليلاً عن السطح المحيط بها . كما تقل درجة الحرارة في البقعة حوالي ١٥٠٠ درجة عن حرارة المنطقة المحيطة بها وهو ما يفسر دكاًنة لونها .

وقطر البقعة الشمسية حوالي ١٠٠٠٠ كم ويتراوح عمرها ما بين أيام قليلة إلى شهور عديدة تبعاً لحجمها حيث تعمر كبراًها فترة أطول . والبقع توجد غالباً في صورة أزواج أو مجموعات أكبر ويمكن تعيين فترة دوران الشمس بتتبع البقع . وتتبع أعداد البقع الشمسية ما يقرب من ٢٥٠ سنة وجد أن تكرار البقع يمكن أن يوصف باستخدام عدد زيوريخ للبقع الشمسية :

$$Z = c (S + 10 G) \quad (1)$$

حيث S عدد البقع و G عدد مجموعات البقع المرئية في لحظة معينة ، و c ثابت يعتمد على الراصد وظروف الرصد .

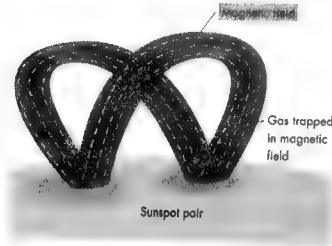
وقد أثبتت الدراسات أن عدد البقع الشمسية يتغير بدورة طولها حوالي ١١ سنة وإن كانت الدورة الفعلية تتراوح ما بين ٧ و ١٧ سنة . وعادة يرتفع نشاط الشمس سريعاً ليصل لقمته خلال ٣ - ٤ سنوات ، ثم يهبط أكثر ببطأ .

والتغير في أعداد البقع يسير بانتظام منذ بداية القرن الثامن عشر . إلا أن القرن السابع عشر كانت هناك فترات طويلة خلت تماماً من البقع وقد سميت تلك الفترة « موندر الدنيا » ، وقد حدث ذلك أيضاً في ما يسمى « سبور الدنيا » في القرن الخامس عشر ، كما تكرر ذلك في الفترات الأقدم . ولا يعرف تفسير لهذه التغيرات غير المنتظمة حتى الآن .

الظواهر المغناطيسية المصاحبة للبقع الشمسية :

بقياس شدة المجال المغناطيسي داخل البقع الشمسية وجد أنها قد تصل لحوالي ٤٥ تسلا (شدة مجال الأرض ٠.٦ مللي تسلا). هذا المجال المغناطيسي القوي يعوق انتقال الحرارة بواسطة الحمل ، وهذا يفسر درجة الحرارة المنخفضة في البقع .

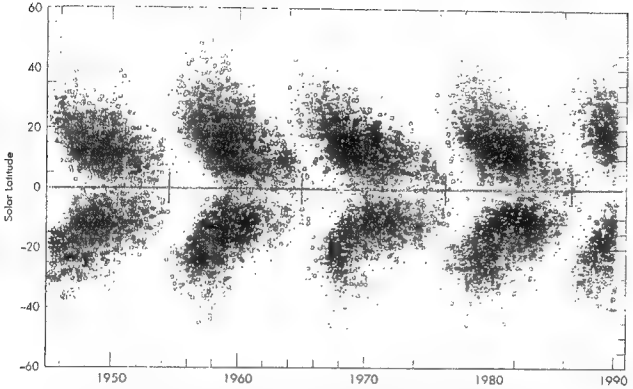
والبقع الشمسية غالبا ما توجد أزواجا تختلف مركباتها في تطبيقاتها ، ويمكن فهم تركيب هذه المجموعات ثنائية القطبية إذا كان المجال يصعد في عقدة فوق سطح الشمس تربط ما بين المركبات في أزواج من البقع . فإذا كان الغاز ينساب على امتداد هذه العقدة فإنها تظهر كلسان لهب أنشوطي (شكل ٦) .



شكل (٦) في أزواج البقع الشمسية تكون خطوط المجال المغناطيسي أنشوطية خارج سطح الشمس .
وتكون المادة المنعابة على امتداد خطوط المجال الصلة لهب أنشوطية

ويعكس التغير الدوري في عدد البقع الشمسية تغيرا في مجال الشمس المغناطيسي العام . عند بدء دورة نشاط جديدة تبدأ البقع في الظهور أولا عند عرض حوالي ٤٠ ، وبتقدم الدورة تتحرك البقع مقتربة من خط الاستواء في نسق مميز يسمى « شكل الفراشة » (شكل ٧) . وتبدأ بقع الدورة التالية في الظهور بينما تكون تلك التابعة للدورة السابقة ما تزال موجودة قرب خط الاستواء . وتكون قطبية بقع الدورة الجديدة مضادة لتلك التابعة للدورة القديمة .

كذلك تختلف البقع الواقعة على جانبي خط الاستواء في قطبيتها . بذلك يعكس المجال قطبيته بين كل دورتين متعاقبتين ، وبذلك تكون دورة مجال الشمس المغناطيسي ٢٢ سنة .



شكل (٧) في بداية دورات النشاط الشمسي تظهر البقع الشمسية في العروض العالية .
و مع تقدم الدورة تتحرك البقع من خط الاستواء ، فتشكل البقع على جانبيه ما يشبه الفراشات
ويوجد نموذج وصفي صوره « بابكوك » لدورة النشاط الشمسي ، يمكن
إيجاره فيما يلي :

(i) عند النهاية الصغرى لدورة النشاط الشمسي يكون المجال المغناطيسي
ثنائي القطب بصفة عامة .

(ii) لوجود وسط موصل (مثل طبقات الشمس الخارجية) فإن هذا الوسط
لا يمكن تحركه عبر خطوط المجال ، لذلك يتجمد هذا الوسط في البلازما
ويحمل بواسطتها .

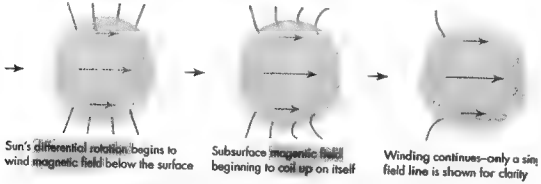
(iii) يتسبب الدوران التفاضلي للشمس (٢٥ يوما عند خط الاستواء ، ٣٠
يوما عند القطب) في سحب المجال ليأخذ شكل لولب مشدود (شكل ٨) .

(iv) خلال هذه المراحل يشتد المجال ويكون هذا التكبير معتمدا على
عرض المكان . وحالما تصبح شدة المجال تحت السطح كبيرة بدرجة كافية ينتج
عنها طفو مغناطيسي يصعد بحبال الفيض المغناطيسي فوق السطح . ويحدث هذا
أولا عند خط عرض ٤٠ ثم بعد ذلك عند خط الاستواء .

(٧) ثم تتمدد تلك الحبال المغناطيسية في صورة عقد تكون مجموعات
البقع ثنائية القطبية .

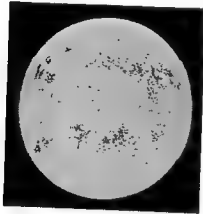
(vi) باستمرار تمدد الحبال المغناطيسية يحدث اتصال بينها وبين المجال ثنائي القطب الذى ما يزال سائدا فى المناطق الجنوبية ، يؤدي هذا إلى إعادة الاتصال بين خطوط المجال مما يؤدي لمعادلة المجال العام .

(vii) النتيجة النهائية بعد هدوء النشاط الشمسى هى عودة المجال ثنائي القطب من جديد .



شكل (٨) تحول خطوط مجال الشمس المغناطيسى العام إلى تولىب مشدود
بتأثير دورات الشمس الحاضلى

الأنشطة الأخرى : تظهر الشمس صورا أخرى عديدة لنشاطها : مشاعل الفوتوسفير (Facules) ومشاعل الكروموسفير (Plages) ، وألسنة اللهب (Prominences) والوميض الشمسى (Flares) .

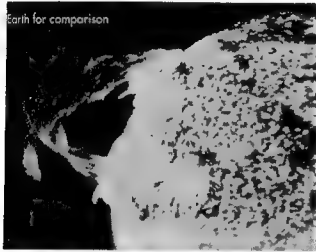


شكل (٩) مشاعل الكروموسفير

(١٤)

المشاعل مناطق محلية مضيئة فى الفوتوسفير والكروموسفير . وترصد مشاعل الكروموسفير فى الطول الموجى $H\alpha$ أو فى خط الكالسيوم K (شكل ٩) وتظهر مشاعل الكروموسفير عادة عندما يبدأ تكون بقع شمسية جديدة ، وتختفى عندما تختفى البقع . ومن الواضح أنها نتاج تسخين رائد للكروموسفير فى وجود مجالات مغناطيسية قوية .

والسنة اللهب من أبرز المظاهر الشمسية ، وهى كتل غازية متوهجة فى الكورونا يمكن رصدها بسهولة عند حافة الشمس وتوجد منها أصناف عديدة (شكل ٦ ، ١٠) . فمنها السنة اللهب الهادئة حيث تهبط الغازات ببطء على امتداد خطوط المجال المغناطيسى ، والسنة اللهب الأنشوطية (شكل ٦) ، ومنها السنة المتفجرة وهى الأقل شيوعا وفيها يقذف الغاز بعنف بعيدا عن الشمس (شكل ١٠) .



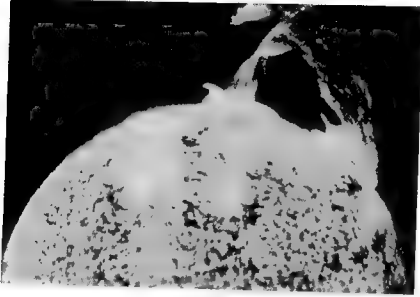
شكل (١٠)

ب - السنة لهب متفجرة

أ - السنة اللهب الهادئة

ودرجة حرارة السنة اللهب حوالى ١٠٠٠٠ - ٢٠٠٠٠ K . وفى الصور المأخوذة فى الخط Hx تبدو السنة كفتائل (Filaments) على سطح الشمس .

أما الوميض الشمسى فهو من أعنف مظاهر النشاط الشمسى (شكل ١١) . وهى تظهر كومضات لامعة تمكث من ثانية وحتى ما يقارب الساعة . وهى تنتج من التحرر المفاجئ لقدر كبير من الطاقة كان مختزنا فى المجال المغناطيسى .



شكل (١١) وميض شمسي عظيم بالقرب من بعض البقع الشمسية الصغيرة

ويمكن رصد الوميض الشمسي في كل الأطوال الموجية . ويزداد انبعاث الأشعة السينية من الشمس حوالي مائة مرة خلال الوميض الشمسي ، وكذلك يزيد انبعاث جسيمات الأشعة الكونية الشمسية .

وتحدث الومضات الشمسية اضطرابات على الأرض ، فالأشعة السينية تحدث تغيرات في الأيونوسفير مما يؤثر على الاتصال بعيد المدى بواسطة موجات الراديو القصيرة ، أما جسيمات الوميض فتسبب أورورا قوية عندما تصل لمجال الأرض المغناطيسي بعد أيام قليلة من انبعاثها .

موجات الراديو والأشعة السينية وفوق البنفسجية : تبعث الشمس بكميات كبيرة من موجات الراديو والأشعة السينية وفوق البنفسجية . وتزداد كثافة انبعاث تلك الإشعاعات بدرجة كبيرة أثناء النشاط الشمسي .



الفصل الثامن

احتمالات الحياة في الكون

- ١ - ٨ تطور الحياة على الأرض
- ٢ - ٨ احتمالات الحياة المتطورة في المجرة
- ٣ - ٨ السفر بين النجوم
- ٤ - ٨ احتمالات الغزو فيما بين النجوم
- ٥ - ٨ الاستيطان في حزام الكويكبات
- ٦ - ٨ الاتصال بالحضارات الأخرى
- ٧ - ٨ عتد الكواكب المأهولة في الكون
- ٨ - ٨ تأثير العمر المحدود للكون

فى منطقة ما من مجرة طريق التبانة ومنذ ما ىرسو على ٥ آلاف مليون سنة وقعت أحداث كان نتائجها خلق مجموعتنا الشمسية ، وكانت الأرض من بين كواكب هذه المجموعة ، قد قدر الله تعالى لها مكانة تختلف عن باقى إخوانها من أسرة الشمس . فقد وقعت عليها تطورات لا تقل أهمية عن خلق المجموعة ذاتها، فى خلال الألف مليون سنة الأولى من عمرها نشأت عليها الحياة فى صورة طحالب ثم تطورت الحياة عليها وتطورت صورها وتعددت إلى أن أراد الله أن يعمرها كائن ذكى يمكن أن يكون حضارة وأن يسجل تاريخها ، هذا هو الإنسان؛ ولأن حاجة الإنسان إلى سبر أغوار المجهول لا تقل عن حاجته إلى الطعام فقد سعى لاستكشاف الكون ، وفى استكشافه هذا للكون ثارت التساؤلات وتعددت عن الحياة ، هل هى فوق الأرض حادث فريد فى الكون أم أنها تكررت فى أنحاء أخرى من هذا الكون الفسيح ؟

فهل وجدت هذه التساؤلات أجوبة شافية ؟؟

٨-١ تطور الحياة على الأرض :

يبلغ عمر الأرض حوالى ٤,٦ بليون سنة ، وقد أظهرت بعض الحفريات وجود طحالب على الأرض منذ حوالى ٣,١ بليون سنة ، مشيرة إلى احتمال نشوء الحياة على الأرض خلال الألف مليون سنة الأولى من نشوئها . ويشير تطور كميات الأكسجين فى الهواء الجوى لبدء الحياة النباتية على الأرض خلال الألف مليون سنة الأخيرة ؛ فالأكسجين الجوى نتاج لعملية التمثيل الضوئى . وتشير الدراسات إلى أنه كان يمثل نسبة ١ ٪ فقط من الغلاف الهوائى منذ حوالى ٦٠٠ مليون سنة بينما يمثل الآن حوالى ٢١ ٪ .

وإذا توقفت عملية التمثيل الضوئى ينفد الأكسجين الجوى بعمليات الاحتراق والتنفس والتحلل خلال ما يقرب من ١٠٠٠ سنة ، وقد يسرع إحراق الفحم والبترول بهذا المعدل ، ولكن الكميات المتاحة من كليهما سوف تنفذ أسرع كثيرا من الأكسجين .

٨-٢ احتمالات الحياة المتطورة في المجرة :

يقارب عدد المجرات التى يمكن رصدها ١٠٠٠ مليون مجرة ، وقد يوجد أضعافها من المجرات التى لا يمكن رصدها . يضم كل من هذه المجرات آلاف الملايين من النجوم التى لا يد وأن يكون لعدد غير قليل منها توابع كوكبية مما يزيد من احتمالات وجود حياة فى أرجاء أخرى من الكون خارج مجرتنا ، ولكن المسافات الشاسعة بين المجرات والتى يقطعها الضوء فى ملايين عديدة من السنين تجعل من الصعب اكتشاف الحياة خارج مجرتنا .

٨-٢-١ عدد الحضارات المحتملة فى مجرتنا :

إذا كان «ن» هو عدد الحضارات المتطورة القادرة على الاتصال فيما بينها وبيننا فى المجرة ، يمكن التعبير عن ن كحاصل ضرب سبعة عوامل :

$$ن = (١٠ ك١) (٣ ك٢) (٤ ك٣) (٥ ك٤) (٦ ك٥) .$$

حيث

ن ١ : عدد النجوم فى المجرة .

ك١ : نسبة عدد النجوم المصحوبة بمجموعات كوكبية .

ك٢ : عدد الكواكب الصالحة لنشوء الحياة فى كل مجموعة .

ك٣ : نسبة عدد الكواكب التى نشأت عليها الحياة فعلا .

ك٤ : نسبة عدد الكواكب التى تطورت عليها كائنات ذكية .

ك٥ : نسبة عدد الكواكب التى تطورت عليها حضارات قادرة على تبادل الاتصالات .

ك٦ : متوسط فترة بقاء تلك الحضارات منسوبة لمتوسط أعمار النجوم المصحوبة بمجموعات كوكبية .

والآن لنلقى نظرة سريعة على القيم العددية الممكنة لهذه العوامل .

$$(١) \text{ كتلة المجرة } = ٢ \times ١٠^{١١} \text{ قدر كتلة الشمس .}$$

متوسط كتلة النجوم السائدة فى المجرة $> \frac{1}{٣}$ كتلة الشمس .

∴ عدد النجوم في المجرة $N \approx 4 \times 10^{11}$

(٢) نصف عدد النجوم القريبة من الشمس موجودة في مجموعات من نجمين أو أكثر ، وفي حالة النجوم المزدوجة لا يكون مدار الكواكب مستقرا إلا على بعد من النجم الأكبر يقل عن ثلث نصف قطر المنطقة التي يمكن أن تنشأ فيها حياة (بالنسبة للنجوم المتقاربة) ، أو أكثر من ثلاثة أمثال هذه المسافة (بالنسبة للنجوم المتباعدة) وعلى ذلك فالأفضل إغفال تلك المجموعات النجمية واعتبار أن $K = \frac{1}{3}$.

(٣) إذا أخذنا في الاعتبار فقط النجوم التي لا تختلف ظروفها الطبيعية كثيرا عن الشمس والتي تكون مستقرة لفترة لا تقل عن ١٠٠٠ مليون سنة (F2-K5) وهي أقل فترة تلزم لنشوء الحياة وتطورها فإن $K = ٠.١$.

(٤) يعتبر كثير من علماء الحياة أن الحياة لا بد أن تنشأ إذا ما توفرت الظروف المواتية . وبذلك يكون $K = ١$

ولكن بعض الآراء المحافظة تفضل اعتبار أن $K = ٠.١$.

(٥) بما أن نشوء حضارة على الأرض قادرة على الاتصال بأنحاء أخرى من المجرة استغرق حوالى ٤٥٠٠ مليون سنة فإنه يمكن اعتبار أن :

$$K = ٤ \text{ أو } K = ١$$

(٦) ليست كل الكائنات أو الحضارات مهتمة بالاتصال بغيرها ، وعلى ذلك يمكن اعتبار أن :

$$K = ٠.٥ \text{ إلى } ٠.١$$

(٧) فترة بقاء النجم المصاحب بمجموعات كوكبية ≈ ١٠٠٠٠ مليون سنة لنفرض أن فترة استمرار حضارة ما $= ١٠^5$ إلى $١٠^٤$ سنة .

$$\therefore K = ١٠^{-٥} \text{ إلى } ١٠^{-٦}$$

وعلى ذلك يكون عدد الحضارات المطلوبة هو :

$$N = ٥١٠ - ٢٠$$

ويتراوح بعد أقرب الحضارات منا (إن وجدت) بين أقل من ١٠٠٠ إلى عدة عشرات من آلاف السنين الضوئية .

٨-٣ السفر بين النجوم :

حيث لا يمكننا الترحال بسرعات تزيد عن سرعة الضوء فإن أى رحلة إلى أقرب الحضارات لنا (إن وجدت) تستغرق على الأقل مئات بل آلاف السنين . ولكى تتم الرحلات خلال حياة أى إنسان نحاول أن نستفيد من تأثيرات النسبية والتي تجعل زمن السفينة المسافرة بسرعة تقارب سرعة الضوء يبطئ بالنسبة لمقاييسنا . فإذا كانت السفينة تسير بسرعة ع وسرعة الضوء ع . فإن الفترة الزمنية (س٢ - س١) على الأرض تناظر الفترة (س٢ - س١) على السفينة حيث :

$$س٢ - س١ = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} (س٢ - س١) .$$

مثال : لنفترض أننا نخطط لرحلة تستغرق ٤٠٠ سنة وأردنا إبطاء الزمن لخمس مقداره ليصبح ٨٠ سنة .

∴ السرعة المطلوبة = ٩٨ ع .

وإذا كانت الاحمال المراد نقلها ١٠ طن وكتلة الماكينات وأجهزة الدفع ١٠ طن تكون الطاقة المطلوبة ٤ × ١٠^{٢٩} إرج .

وهي تعادل الطاقة اللازمة لاستهلاك العالم أجمع لمدة ٢٠٠ سنة . فإذا ما أردنا بلوغ هذه السرعة بعجلة مساوية لعجلة الجاذبية الأرضية لاحتجنا إلى ٢,٣ سنة و ٤٠ مليون محطة تولد كل منها طاقة قدرها ١٥ مليون وات تنقل بكفاءة تامة بواسطة ٦٠٠٠ مليون محطة محولات قدرة ١٠٠ ألف وات لكل منها .

فهل تتسع حمولة ٢٠ طنا لكل هذا ؟

وكخطوة متواضعة فى هذا الطريق فقد وضعت بيونير ١٠ بعد مرورها بالمشتري فى مدار تخرج فيه من المجموعة الشمسية حاملة رسوما لإنسان الأرض ورسائل تصف العالم الذى خرجت منه .

كثيرا ما يقال بأن الأرض إذا ضاقت بسكانها فإن القمر والمريخ وغيرها متسعا لهم . ولكن الدراسات الجادة أوضحت أن القمر والمريخ (إذا ما تغاضينا

عن الصعوبات الجسيمة التي تعترض الحياة فوق أى منهما) لا يستطيعان استيعاب زيادة السكان على الأرض لأكثر من ٣٥ سنة . أما إذا افترضنا احتمالات حسنة لوجود كواكب صالحة للحياة فى حدود ١٥٠ سنة ضوئية لاستطعنا استيعاب الزيادة السكانية على الأرض مدة ٥٠٠ سنة .

٨ - ٤ احتمالات الغزو فيما بين النجوم :

يتضح مما سبق أن السفر بين النجوم لا يمكن بحال أن يتم فى حياة أى إنسان ولكى يصبح السفر بين النجوم وغزوها ممكن الحدوث يجب أن تقوم به مجموعات من آلاف المتطوعين تنظم رحلات يستقلون خلالها ما يشبه منازل ضخمة متحركة تستمر لأجيال عديدة متتالية يتنقلون خلالها من كوكب حول أحد النجوم إلى آخر حول نجم غيره ، وتزود هذه المركبات الضخمة بأجهزة يمكنها الاستفادة من طاقات النجوم التى تمر بها ومن مجالات جذبها الضخمة ، وكذلك يجب تزويدها بما يسمح لها بتوليد الطاقة النووية وقت اللزوم .

وبإمكاناتنا الحالية يمكن لمثل هذه الرحلات أن تغطى كل أنحاء مجرتنا فى خلال ١٠ ملايين سنة .

وحيث إن عمر الأرض أطول من ذلك بكثير فإن أى سكان متقدمين فى أنحاء أخرى من المجرة لابد وأنهم قد زاروا الأرض مرات عديدة ، ويشير هذا احتمالات لم تجد جوابا شافيا حتى الآن :

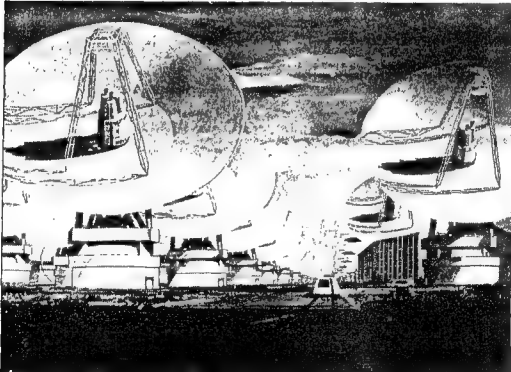
(١) أن تكون الحياة فوق كوكب الأرض فريدة بين كواكب مجرتنا ، وفى هذه الحالة يكون احتمال نشوء حياة متطورة أقل من ١٠^{-٦} .

(٢) أن تكون هناك حضارات أخرى فى المجرة لكنها لم تهتم بمحاولة التجوال بين النجوم أو محاولة الاتصال بنا أو ليس لديها القدرة لمثل هذا التجوال أو الاتصال .

(٣) أن يكون قد حدث فعلا غزو استطلاعى للأرض وبقيّة أنحاء المجموعة الشمسية .

٨-٥ الاستيطان في حزام الكويكبات :

إذا صدق الاحتمال الثالث وكان هناك غزاة للمجموعة الشمسية قد وصلوا إليها فعلا ، فإنهم ربما يكونون الآن مقيمين فوق أحد كواكب المجموعة أو يدورون في مدار قريب من مدار الأرض . ويرى بعض الباحثين أن أنسب مكان لهؤلاء الغزاة هو حزام الكويكبات ، حيث يمكنهم الحصول بيسر على ما يحتاجونه من معادن أو مركبات عضوية ، كما يمكنهم الحصول على الوقود النووي من المشتري ، كذلك فإن وجودهم بين العديد من الكويكبات المتقاربة في الحجم يجعل من الصعب الكشف عن وجودهم ؛ إضافة إلى أن سفرهم أو هبوطهم على أى من الكويكبات لا يحتاج إلا لقدر يسير من الطاقة . ويمكن التحقق من صحة أو خطأ هذا الفرض برصد أى تغير محسوس في درجة حرارة أحد الكويكبات .



شكل (٨) مجموعة مناهلير راديوية لاستقبال أى إشارات من خارج الأرض

٨-٦ الإتصال بالحضارات الأخرى :

حتى الآن لا يؤمل كثيرا فى تبادل الرسائل مع ما يوجد من حضارات أخرى فى المجرة . ولكن الاحتمال المأمول هو استقبال أو إرسال رسائل راديوية على الموجة ٢١ سم التى يشعها الأندروجين المتعادل فى الفراغ وتطوف بجميع أرجاء المجرة .

وقد تم فعلا بث رسائل تزيد قليلا عن عشرين رسالة بواسطة فلكيى الولايات المتحدة الأمريكية وكندا والإتحاد السوفيتى . كما تم وضع تخطيط فى الولايات الأمريكية المتحدة لعدد ضخم من المناظير الراديوية قطر هوائى كل منها حوالى ١٠٠ متر تمتد لمسافة ٥ كيلو مترات وتستقبل الموجات من ١٤٢٠ إلى ١٦٦٠ ميغا هيرتز من بعد يصل إلى ١٠٠٠ سنة ضوئية (شكل ١) .

٨-٧ عدد الكواكب المأهولة فى الكون :

يتطلب تعيين عدد الكواكب المأهولة فى الكون المرئى استخدام نموذج كونى مناسب وتعيين الكثافة المحلية للنجوم المأهولة . وتميز أبسط النماذج الكونية وأكثرها قبولا بالآتى :

١ - ثابت هبل $H_0 = ٥٠$ كم / ث . م ب (م ب = ميغا بارسك = مليون بارسك . والبارسك = ٣,٢٦ سنة ضوئية) .

٢ - النسبة بين الكثافة الحالية لمادة الكون والكثافة الحرجة التى يتوقف عندها تمدد الكون .

ج = $\frac{H_0^2}{8\pi G}$ حيث G هو ثابت الجاذبية العام ، ρ الكثافة الحالية لمادة الكون .

ويتمدد شكل الكون تبعاً لقيمة ج كالآتى :

(١) إذا كانت ج < ١ يكون الكون مغلقاً على نفسه وذاً حجم محدود ، وبذلك سوف يتوقف عن التمدد عند لحظة معينة فى المستقبل ثم يبدأ فى الانكماش مرة أخرى .

(٢) إذا كانت ج = ١ يكون الكون كفراغ أفليدى غير محدود الحجم يتمدد بلا نهاية .

(٣) إذا كانت $j > 1$ يكون انحناء الكون سالبا وحجمه غير محدود وبذلك يتمدد إلى الأبد .

لنناقش الآن ما يعنيه ذلك بالنسبة للحياة في الكون :

$$3-10 \times 3 = \frac{\text{الضياء الصادر من كل من (م ب) من حجم الكون}}{\text{الضياء الكلى للمجرة}}$$

عدد الكواكب المأهولة (المشابهة للأرض) في المجرة $N \approx 10^6$

∴ كثافة الكواكب المأهولة في الكون $\theta = 3 \times 10^3$ كوكب / م ب

فإذا كانت $j < 1$ (تساوى ٢ مثلا) فإن الكون يماثل في هندسته كرة في فراغ ذي ثلاثة أبعاد ونصف قطر انحناؤه 6000 م ب

وحجمه $\theta = 3, 4 \times 10^{12}$ (م ب)^٣

فيكون عدد الكواكب المأهولة $N = \theta \times H \approx 10^6$

من ذلك يتضح أنه سوف تكون هناك حضارات أخرى في الكون إذا كان احتمال نشوء حضارة متطورة على كل كوكب مأهول

$$m < 10^{-16}$$

أما إذا كانت $j \geq 1$ فإن

$$h = \infty$$

$$n = \infty$$

وبما أن احتمال نشوء حضارة متطورة فوق كل كوكب مأهول $<$ صفر فينتج أن هناك عددا لا نهائى من الحضارات المتطورة فى الكون ، إذا كان هذا الاحتمال صغيرا جدا فإن أقرب هذه الحضارات ستكون بعيدة عنا كثيرا .

٨-٨ تأثير العمر المحدود للكوكب :

إننا لا نستطيع رؤية الكون بجميع أرجائه نظرا لعمره المحدود ، ويسمى حد الرؤية بالأفق الكوني (Particle horizon) وهو يمثل أقصى بعد للأجسام التي يمكن أن تصلنا منها فوتونات في الوقت الحاضر ، أما الأجسام التي يزيد بعدها عن ذلك فما زالت الفوتونات الصادرة عنها في الطريق ولم تصلنا بعد .

وبمرور الزمن تزداد آفاق الحضارات الكونية المختلفة اقترابا ويزيد احتمال الاتصال بينها . فلذا افترضنا أن الحضارات الكونية بدأت منذ ٢٠٠٠ مليون سنة فإنه يمكننا رؤية حضارات كونية أخرى إذا كان احتمال نشوء حضارة متطورة فوق كل كوكب مأهول أكبر من ١٠×١٠^{-١٢} .



الفصل التاسع

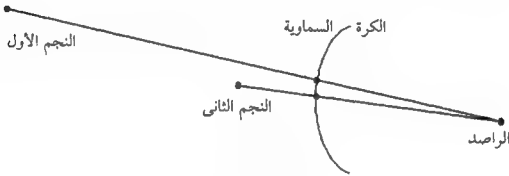
النجوم

النجوم المزدوجة	١-٩
تركيب النجوم	٢-٩
تطور النجوم	٣-٩
النجوم المتغيرة	٤-٩
النجوم المتفجرة	٥-٩
النجوم الكثيفة	٦-٩
وسط ما بين النجوم	٧-٩
جسود وتجمعات النجوم	٨-٩

فى هذا الفصل نتناول بإيجاز خصائص نجوم السماء ومجموعاتها فنصف كيف تولد وكيف تحيا وكيف تموت .

٩-١ النجوم المزدوجة :

كثيرا ما يبدو لنا فى السماء نجوم ، نجمان نظنهما من قريهما مجموعة واحدة ، إلا أنهما فى حقيقة الأمر يكونان متباعدين بعدا قصيا لكن بديا قريين ؛



شكل (١) المزدوجات البصرية

لصغر الزاوية بينهما على الكرة السماوية . مزدوجات الصدفة هذه تسمى مزدوجات الصدفة البصرية (Optical Binaries) (شكل ١) مع هذا فكثير من المزدوجات تكون فعلا على نفس البعد وتكون نظاما فيزيائيا واحدا يدور فيه كل منهما حول الآخر ، بل إن أكثر من ٥٠ ٪ من النجوم تنتمى لنظم من نجمين أو أكثر . وبصفة عامة للنظم المركبة أنساق لا تحيد عنها ، نجم ومزدوج يدوران حول بعضهما البعض فى النظم الثلاثية ، أو مزدوجان يدوران حول بعضهما البعض فى النظم الرباعية . وبذلك فإن معظم النظم المركبة يمكن دراستها كمزدوجات مختلفة الرتب .

وتصنف النجوم المزدوجة تبعا لطريقة كشفها :

(١) المزدوجات البصرية (Visual binaries) : يمكن رؤيتها كنجوم منفصلة يزيد الفاصل بين نجومها عن ١ ، ٠ ثانية قوسية .

(ب) مزدوجات استرومترية (Astrometric binaries) : يرى منها نجم واحد لكن حركته توضح وجود نجم آخر غير مرئى .

(ج) المزدوجات الطيفية (Spectroscopic binaries) : لا يسمح قربها الشديد من بعضها برؤيتها كنجمين منفصلين خلال المنظار فتبدو كنجم واحد . ولكن تعرف من طيفها حيث يحتوى مجموعتين من الخطوط ، كما تنزاح الخطوط بتأثير دوبلر نتيجة حركة الشافى .

(د) المزدوجات الفوتومترية أو الكسوفية (Photometric or eclipsing) : تكون قريبة من بعضها البعض ويسمح وضع مدارها (بوقوع مستواه قريبا من خط البصر) أن يحدث كسوف متبادل للنجمين فيظهر الثنائى ألمع ما يمكن عند ظهور النجمين معا ، ثم يخفت الضوء بصورة ملحوظة باختفاء النجم اللامع . ويختفى بدرجة أقل حين يخفى النجم الخافت .

ويمكن تقسيم النجوم المزدوجة تبعا للمسافة بين النجمين . ففى المزدوجات المتباعدة يتراوح البعد بين نجميهما ما بين عشرات ومئات الوحدات الفلكية وأزمتها الدورية بين عشرات وآلاف السنين . بينما فى النجوم المتقاربة تتراوح بين ساعات قليلة وسنوات قليلة .

والنجوم فى النظم الثنائية تتحرك حول مركز كتلتها فى قطاعات ناقصة .

٢-٩ تركيب النجوم :

النجوم كتل غاز ضخمة كتلتها مئات الآلاف أو ملايين المرات ضعف كتلة الأرض . ويمكن لنجم مثل الشمس أن يمضى لامعا باستقرار آلاف الملايين من السنين ، يتضح هذا من درأسات الأرض فى حقب ما قبل التاريخ ، فقد أوضحت تلك الدراسات عدم وجود أى تغير ملحوظ فيما تشع الشمس من طاقة خلال الأربع آلاف مليون سنة الأخيرة . وعلى امتداد مثل هذه الفترة من عمر النجم يجب أن يكون توازنه مستقرا .

وعادة يمكن التعبير رياضيا عن الاتزان الداخلى للنجم من خلال أربع معادلات تفاضلية :

١ - معادلة التوازن الهيدروستاتيكي ، وهي تعبير عن ائزان قوى التجارب التثاقلى التى تجذب مادة النجم للداخل مع قوة ضغط الغازات التى تميل لدفعها للخارج (سواء المتعادل منها أو المشحون) .

٢ - تعطى المعادلة الثانية كتلة المادة المحتواة داخل نصف قطر معين وهى تعبر عن اتصال المادة .

٣ - تعبر المعادلة الثالثة عن حفظ الطاقة داخل النجم ، بما يعنى اقتضاء أن أى طاقة ينتجها النجم تحمل إلى سطحه حتى يشعها إلى الخارج .

٤ - أما المعادلة الرابعة فتعبر عن تغير درجة الحرارة بالبعد عن المركز .

يصاحب تلك المعادلات أربعة شروط حدية (i) لا توجد مصادر للمادة أو الطاقة عند المركز ، (ii) الكتلة الكلية للمادة داخل نصف قطر معين لا تتغير ، أى أنه يمكن تحديد نصف القطر المناظر للكتلة ، (iii) لصغير قيم الضغط ودرجة الحرارة عند السطح مقارنة بقيمها عند المركز ، يكفى اعتبار كليهما مساو للصفر .

كذلك يلزم استخدام معادلة حالة مناسبة وصيغ معاملات الامتصاص ومعدلات إنتاج الطاقة .

والنجم فى فترة استقراره ينتج الطاقة من خلال تفاعلات نووية اندماجية تتحول من خلالها أنوية المواد الخفيفة لأنوية أثقل مع انطلاق فارق الكتلة فى صورة طاقة تبعا لقانون أينشتين $E = mc^2$ حيث c هى سرعة الضوء . وحيث إن معظم مادة النجم تتكون من الهيدروجين يبدأ النجم حياته بسيادة التفاعلات التى يتحول فيها الهيدروجين إلى هليوم ، وبعد فترة من حياة النجم يبدأ الهليوم فى التحول إلى عناصر أثقل وهكذا . ولنعتبر قدر الطاقة الناتجة من اندماج أربع أنوية الهيدروجين لتكوين نواة هليوم .

كتلة البروتون 1.6725×10^{-27} كجم ، وكتلة نواة الهليوم 6.644×10^{-27} كجم ، فارق الكتلة 4.6×10^{-29} كجم ($= 0.7\%$ من الكتلة المتبقية) وهو ما يعادل انطلاق طاقة قدرها 1.0×10^{12} جول ؛ أى أن تحول ١ كجم من الهيدروجين ينتج طاقة قدرها 1.0×10^{14} جول . وهذه الطاقة تنتج فى لب النجم .

ويلاحظ أن معادلة الميل الحرارى المطلوبة فى الشرط الرابع تعتمد على وسيلة انتقال الطاقة داخل النجم ، ففى داخل النجوم العادية يكون التوصيل غير مؤثر ، ذلك أن الإلكترونات الحاملة للطاقة لا يمكنها التحرك سوى مسافة قصيرة قبل أن تصطدم بجسيمات أخرى ، وبذلك فالتوصيل لا يقوم بدور يذكر إلا فى النجوم الكثيفة . مثل الأقزام البيض والنجوم النيوترونية حيث يزداد المسار الحر للإلكترونات كثيرا ، لذلك يسود فى النجوم العادية انتقال الطاقة بواسطة الإشعاع أو الحمل .

يمكن حل المعادلات المذكورة إذا عرفت كتلة النجم وتركيبه الكيميائى . ويتيح هذا الحل حساب نماذج للنجوم وتفسير علاقة الكتلة بالنورانية .
وجداول (١) يعطى نموذجا لنجوم التابع الرئيسى المتكونة حديثا (أى ذات العمر صفر) بافتراض تكونها من ٧١ ٪ هيدروجين و ٢٧ ٪ هليوم و ٢ ٪ عناصر أثقل .

جدول رقم (١) خواص نجوم التتابع الرئيسى ذات العمر صفر

$\frac{M_{ce}}{M}$	$\frac{M_{ci}}{M}$	P_c ($g\text{lan}^3$)	T_e (10^6 k)	$\frac{R}{R_\odot}$	T_e (10^3 k)	$\frac{L}{L_\odot}$	$\frac{M}{M_\odot}$
.	٠,٦٠	٣,٠	٣٦	٦,٦	٤٤	١٤٠٠٠٠	٣٠
.	٠,٣٩	٦,٢	٣٤	٤,٧	٣٢	٢١٠٠٠	١٥
.	٠,٢٦	٧,٩	٣١	٣,٥	٢٦	٤٥٠٠	٩
.	٠,٢٢	٢٦	٢٧	٢,٢	٢٠	٦٣٠	٥
.	٠,١٨	٤٢	٢٤	١,٧	١٤	٩٣	٣
.	٠,٠٦	٩٥	١٩	١,٢	٨,١	٥,٤	١,٥
٠,١	.	٨٩	١٤	٠,٨٧	٥,٨	٠,٧٤	١
٠,٤١	.	٧٨	٩,١	٠,٤٤	٣,٩	٠,٠٣٨	٠,٥

c : مركزى ، ci : الداخلى الحملى (نقل الحرارة بالحمل) ، ce : الوشاح الحملى .

٣-٩ تطور النجوم :

بمرور فترات طويلة من الزمن يتغير التركيب الكيميائي للنجم كنتيجة للتحولات النووية التي تحدث بداخله ، بذلك يتغير النموذج الممثل للنجم والظروف الفيزيائية السائدة بداخله فيتطور النجم ليمر بمراحل متنوعة في حياته . وتوجد للنجم ثلاث مقاييس زمنية لتطور النجم تختلف تماما مع مراحل حياته المختلفة .

مقياس الزمن النووي t_n : هو الزمن الذي يمكن للنجم خلاله أن يشع للخارج كل ما يمكن أن يتحرر من طاقة التفاعلات النووية . ويمكن تقدير هذا الزمن بحساب الفترة اللازمة لاستنفاد كل مخزون النجم المتاح من الهيدروجين بتحويله إلى هليوم . وتبعا للتقديرات النظرية لا يمكن للنجم أن يستنفد سوى ١٠٪ من مخزونه من الهيدروجين ثم يتحول لمرحلة أخرى يكون التطور فيها أسرع . وحيث إن حوالي ٧٪ من الكتلة يتحول إلى طاقة بحرق الهيدروجين يكون مقياس الزمن النووي

$$t_n = \frac{0.007 \times 0.1 \text{ Mc}^2}{L} \quad (1)$$

من (١) نجد مقياس الزمن النووي للشمس ١٠ آلاف مليون سنة ، وبذلك يمكن كتابة (١) في الصورة الأسهل

$$t_n \approx \frac{M/M_\odot}{L/L_\odot} \times 10^{10} \text{ year} \quad (2)$$

فلو كانت كتلة أحد النجوم $30 M_\odot$ يكون t_n حوالي ٢ مليون سنة ، وسبب هذا أن النورانية تزداد كثيرا للكتل الكبيرة ، وهذا واضح من الجدول (١) . والنجوم تتبع في تطورها على التتابع الرئيسى مقياس الزمن النووي .

مقياس الزمن الحرارى t_d : هو الفترة التي تمضى ليشع النجم للخارج طاقته الحرارية إذا توقفت التفاعلات النووية فجأة . هذا الزمن يساوى الفترة التي يستغرقها الإشعاع ليصل من مركز النجم حتى سطحه . ويمكن تقديره بالعلاقة

$$t_d = \frac{0.5 GM^2/R}{L} \approx \frac{(M/M_\odot)^2}{(R/R_\odot)(L/L_\odot)} \times 2 \times 10^7 \text{ year} \quad (3)$$

حيث G ثابت الثقالة و R نصف قطر النجم . من (3) يمكن حساب

مقياس الزمن الحرارى للشمس بحوالى ٢٠ مليون سنة ، أى حوالى $\frac{1}{10}$ من المقياس النووى .

مقياس الزمن الديناميكي t_d : هو أقصر تلك الأزمنة وهو الزمن الذى يستغرقه النجم ليشهار إذا أريح فجأة الضغط الذى يدعمه ضد تأثير الثقالة . ويمكن تقديره بالفترة التى يستغرقها جسيم فى السقوط الحر من سطح النجم حتى مركزه . وحيث إن الجسيم يتبع فى سقوطه قطعاً ناقصاً قطر الأكبر يساوى قطر النجم R فإن الزمن المطلوب يساوى نصف الزمن الدورى فى هذا القطع ، أى أن

$$t_d = \frac{2\pi}{2} \sqrt{\frac{(R/2)^3}{GM}} \approx \sqrt{\frac{R^3}{GM}} \quad (4)$$

وهو ما يساوى حوالى نصف ساعة فى حالة الشمس .

من ذلك نرى أن

$$t_d \ll t_t \ll t_n$$

نبذة عن مراحل التطور فى حياة النجوم :

تتكون النجوم عادة بانكماش سحب الغازات المادية ما بين النجوم ، فعندما تبدأ السحابة فى الانكماش تأخذ درجة حرارتها فى الارتفاع ، فإذا كانت كتلتها أكبر من 0.8 ، من كتلة الشمس تبدأ التفاعلات النووية بداخلها عندما تبلغ حداً معيناً من التسخين ، وبذلك تبدأ فترة حياتها كنجم على التابع الرئيسى . وتختلف مراحل التطور بعد ذلك اختلافاً بيناً تبعاً لكتلة النجم . إلا أن كل النجوم تقضى معظم حياتها على التابع الرئيسى وهى الفترة المقدره بالزمن t_n .

(١) النجوم ما بين $0.08 M_{\odot}$ - $0.26 M_{\odot}$:

تطور هذه النجوم بسيط لدرجة كبيرة ، فطوال مكثها على التابع الرئيسى يكون توصيل الطاقة فيها بالكامل بواسطة الحمل ، مما يعنى أن كل محتواها من الهيدروجين متاح كوقود . وهذه النجوم تتطور ببطء شديد للجزء الشمال الأعلى من شكل $H - R$ ، ثم فى النهاية عندما يحترق كل مخزونها من الهيدروجين يتحول إلى هيليوم تنكمش لتتحول إلى قزم أبيض .

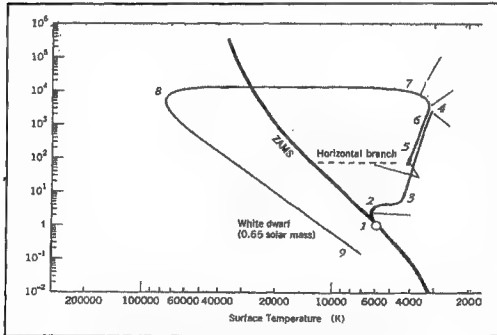
(ب) النجوم المساوية للشمس فى الكتلة :

يمكن إيجاز مراحل تطور هذه النجوم كما يلى تبعا للمراحل الموضحة فى شكل (٢) .

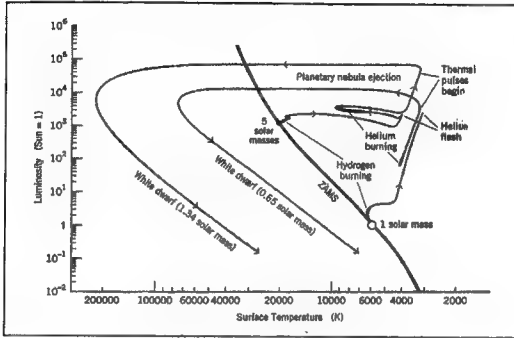
(١) بدء احتراق الهيدروجين فى اللب (التتابع الرئيسى) .

(٢) يتحول كل الهيدروجين فى اللب تقريبا إلى هليوم وترتفع درجة الحرارة فى اللب بالتدريج فيزداد انسياب الطاقة تجاه السطح ويزداد اللمعان ويصبح النجم مهيا لتتحول لعملاق أحمر حيث يبدأ حرق الهيدروجين فى غلاف محيط باللب .

(٣) يبدأ اللب فى الانكماش بتأثير الثقائل بينما يتمدد النجم بواسطة الحمل فى وشاح النجم ، ويبدأ فى التحول إلى عملاق أحمر ، فى هذه المرحلة يكون لب العملاق الأحمر قد انضغط بتأثير الثقائل لدرجة تنحصر عندها الإلكترونات من أنويتها ليتحول اللب إلى غاز متحلل يعتمد فيه الضغط على الكثافة فقط وليس على درجة الحرارة فيتوازن برغم غياب التفاعلات النووية . وهذا الغاز موصل جيد للحرارة ، ولذا تتساوى درجة الحرارة فى كل أنحاء اللب .



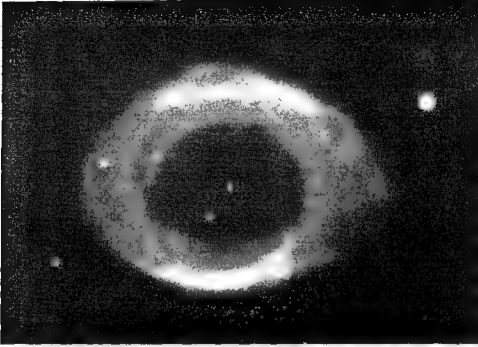
شكل (٢) - مسار تطور النجوم المساوية فى كتلتها لكتلة الشمس



شكل (٢) ب- مسار تطور النجوم ذات الكتلة ١ - ٥ كتلة شمسية

- (٤) بدخول النجم لمرحلة العملاق الأحمر تكون درجة حرارة اللب المنكمش قد وصلت للدرجة تسمح ببدء احتراق الهليوم وتنتشر هذه العملية سريعاً في اللب فيما يسمى « وميض الهليوم » ، وقد لا تستغرق عملية حرق الهليوم غير دقائق قليلة ، وهي عملية لا نراها أبداً حيث تتم في أعماق داخل النجم .
- (٥) يقل نصف قطر النجم ولسمعانه قليلاً ويستمر احتراق الهيدروجين في الغلاف بالإضافة لاحتراق الهليوم في اللب .

(٦) يتحول اللب إلى كربون وتتوقف التفاعلات فيه لكنها تستمر في غلاف يحيط به مما يؤدي لتسمد النجم ليتحول مرة أخرى لعملاق أحمر . ويؤدي استمرار احتراق الهليوم في الغلاف لأن يصبح النجم غير مستقر فتحدث انفجارات نووية فيما يسمى « دفعات حرارية » تتكرر كل عدة آلاف من السنين وترتفع معها نورانية النجم وتهبط سريعاً حوالي ٥٠ ٪ في كل مرة (أى خلال سنوات أو عشرات قليلة من السنين) ، وتبدأ تيارات الحمل في نقل العناصر الثقيلة للخارج في كل انفجار .



(٧) يشتد انبعاث المادة للخارج فيتحول النجم إلى لب ساخن بالداخل محاطا بغلاف خارجي يتمدد بتأثير الحرارة الآتية من اللب ، ويسمى هذا الغلاف « سديم كوكبي » (شكل ٣) .

(٨) يتخلص النجم من سديمه الكوكبي بالتدرج في خلال آلاف قليلة إلى مئات قليلة من آلاف السنين . ويتحول اللب إلى قزم أبيض يتكون أساسا من الكربون ، ويحدث ذلك خلال ما يقارب ٧٥٠٠٠ سنة . وهذه هي المرحلة بين نقطتي ٨ ، ٩ في شك (٢) . والكتلة المتبقية لا تسمح بتفاعلات نووية يحترق فيها الكربون .

نهاية الأرض : يتوقع أن تصل الشمس في تمدها حتى حوالي ١,١ و. ن لتدور الأرض داخل جوها فينشق هواؤها ويتبخر وشاحها ، كما يؤدي احتكاكها بمادة جو الشمس لانكماش مدارها فتسقط في لب الشمس خلال أقل من ٢٠٠ سنة لتتبخر بالكامل ، لحظتها لا تكون هناك أرض . وسبحان الله عز وجل حين

يقول في كتابه الكريم ﴿فَإِذَا بَرِقَ الْبَصَرُ وَخَسَفَ الْقَمَرُ وَجُمِعَ الشَّمْسُ وَالْقَمَرُ﴾ (القيامة ٧ ، ٨ ، ٩) .

(ج) النجوم الثقيلة :

تسمح كتلة تلك النجوم ببدء تفاعلات نووية تتكون فيها عناصر ثقيلة ، ولذلك يلعب ضغط الارتفاع دورا أكبر في تطورها ، ويمكن إيجاز تطورها بصورة عامة كما يلي :

(١) يحترق الهيدروجين على التابع الرئيسي بدورة CNO (كربون - نيتروجين - أكسجين) .

(٢) عمرها على التابع الرئيسي أقصر .

(٣) تشعل حرارتها المرتفعة التفاعلات النووية في الكربون والعناصر الأثقل .

(٤) لا يتحول اللب الغنى في الهيليوم لحالة التحلل .

(٥) تنتقل الطاقة بداخلها أساسا بالحمل وليس بالإشعاع .

ويحدث هذا التطور حوالى مائة مرة أسرع من تلك المساوية للشمس فى كتلتها .

ويوضح جدول (٢) مراحل التطور للنجوم من الكتل المختلفة ، بينما يوضح جدول (٣) مراحل التفاعلات النووية الحرارية .

جدول (٣) مقارنة مراحل تطور النجوم للكتل المختلفة

الكتلة	مراحل التطور
صغيرة (> كتلة الشمس)	التابع الرئيسى ← عملاق أحمر ← سديم كوكبى ← قزم أبيض ← قزم أسود (لا إشعاع)
متوسطة (≈ ٥ - ١٠ كتلة شمسية)	التابع الرئيسى ← عملاق أحمر ← سديم كوكبى أو سوبر نوفا (نجم فوق براق)
عالية (< ٢٠ كتلة شمسية)	التابع الرئيسى ← عملاق فائق ← سوبر نوفا (نجم فوق براق)

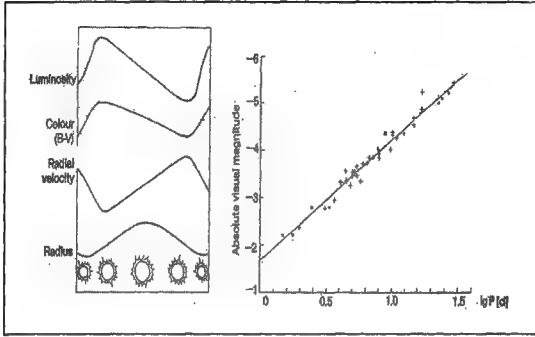
جدول [٣] مراحل توليد الطاقة النووية الحرارية في النجوم

العملية	الوقود	النواتج الرئيسية	درجة الحرارة التقريبية (K)	الكتلة الصغرى التقريبية (كتلة شمسية)
حرق الهيدروجين	الهيدروجين	الهيليوم	2×10^7	٠,١
حرق الهيليوم	الهيليوم	الكربون والأكسجين	2×10^8	١
حرق الكربون	الكربون	الأكسجين والنيون والصوديوم والمغنسيوم	8×10^8	١,٤
حرق النيون	النيون	الأكسجين والمغنسيوم	$1,5 \times 10^9$	٥
حرق الأكسجين	الأكسجين	مغنسيوم إلى كبريت	2×10^9	١٠
حرق السليكون	مغنسيوم إلى كبريت	عناصر قريبة من الحديد	5×10^9	٢٠

٩-٤ النجوم المتغيرة :

تسمى النجوم التي يتغير قدرها نجوما متغيرة . في هذه النجوم تتمدد وتنكمش طبقاتها الخارجية فيتغير دوريا كل من حجمها ودرجة لمعانها ودرجة حرارتها . وأنواع هذه النجوم كثيرة من أشهرها :

(i) المتغيرات القيفاوية (Cepheids) : نجوم صفراء كبيرة الحجم يصل لمعانها إلى ١٠ آلاف مرة مثل الشمس ويعرف منها في مجرتنا حوالى ٧٠٠ نجم . وهى نجوم شابة وتوجد فى الحشود المفتوحة . وتراوح القدر المطلق لهذه النجوم بين - ١,٥ و - ٥ ، أما دورات تغيرها فتتراوح بين ٣ إلى ٥٠ يوما ، وتوجد علاقة بين دورة تغير هذه النجوم وقدرها المطلق (شكل ٤) . وتساعد هذه العلاقة فى تعيين أبعاد هذه النجوم حيث يتم رصد دورة تغيرها وقدرها الظاهرى . ثم من الشكل نحصل على قدرها المطلق ، ثم باستخدام القدرين المطلق والظاهرى يحسب بعدها .



شكل (٤) - علاقة القدر المطلق للمتفجرات القيفاوية ودورة تغيرها
ب- تغير النورانية واللون والحجم خلال بعض المتفجرات القيفاوية

(ii) نجوم RR ليرا : (القيثارة أو النسر الواقع) . نجوم هزمة يعرف الآلاف منها فى مجرتنا ، وتوجد كلها تقريبا فى نواة المجرة أو فى الحشود الكرية فلا يكاد يخلو منها حشد كرى . ودورات هذه النجوم أقل من اليوم ومعظمها يتراوح بين ٠.٣ إلى ٠.٧ يوم .

٩-٥ النجوم المتفجرة :

هى نجوم استنفدت مخزونها من الوقود النووى الأساسى ، وأصبحت فى حالة من عدم الاتزان .

(i) الأقزام البيض : عندما تفقد النجوم المماثلة للشمس فى الكتلة (أقل من $1.4 M_{\odot}$) مخزونها من الوقود النووى الأساسى لا يكون أمامها لإنتاج الطاقة غير الانكماش (داخليا مع تمدد أغلفتها الخارجية لتكون عملاقا أحمر قلبه شديد الانضغاط ثم تفجر الأغلفة الخارجية تاركة الجزء الداخلى) لتحرير مزيد من طاقة الوضع بها حتى تصل فى النهاية لنجم عظيم الكثافة تخلصت ذراته من

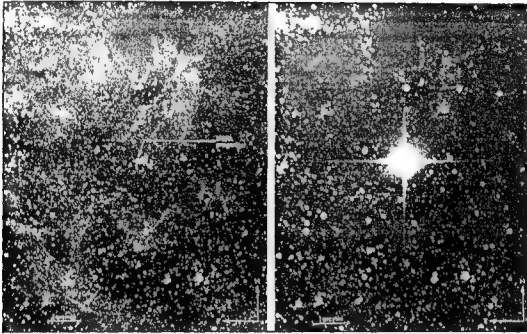
إلكتروناتها لتقارب كثافته كثافة مادة النواة حيث تصل إلى مليون مرة مثل الماء .
مثل هذا النجم يسمى قزما أبيض . والقزم الأبيض نجم كثيف وليس متفجرا ،
لكننا سنناقشه في البدء لدوره مع النجوم المتفجرة كما سيتضح مع السوبر نوبا .

(ii) النجوم البراقة (نوبا) : بينما تموت الأقزام البيض المعزولة في سكون
حيث تتحول إلى قزم أسود ، فإن تلك التي يصاحبها نجم آخر تجذب إليها
الانتباه بتحولها إلى نوبا . والنوبا نجم موجود أصلا يبعث فجأة بدفعة من الضوء
قد تجعله مرئيا بالعين المجردة ، ويستمر كذلك لعدة أيام أو أسابيع ثم يخبو
تدريجيا . تحدث هذه الظاهرة في النجوم المزدوجة المتقاربة التي يكون أحدها
قزما أبيض ، ويحدث الانبعاث بالانتقال المادة من النجم العادي إلى القزم
الأبيض ، ويسهل من هذه العملية أن يكون النجم الآخر في حالة تمدد ليتحول
إلى عملاق أحمر .

(iii) النجوم فوق البراقة (سوبر نوبا) : النجوم التي تبدأ تطورها بكتلة أكبر
١٢ كتلة شمسية تبنى بداخلها قرب آخر مراحل تطورها قزما أبيض تحميه
الإلكترونات الحرة من مزيد من الانكماش ، ومع استمرار التفاعلات النووية حول
اللب ترسب عليه نواتج التفاعل فتزداد كتلته . تصل كتلة اللب لحد تزيد معه
المجازية لدرجة تجعل الإلكترونات الحرة تندمج مع البروتونات مكونة نيوترونات،
وبذلك يزول عامل حماية اللب من الانكماش .

ينكمش اللب فجأة وفي فترة أقل من الثانية ينقص حجمه من حجم يساوي
حجم الأرض تقريبا إلى أقل من ١٠٠ كم ، وقد تصل سرعة تساقط المادة على
اللب إلى ربع سرعة الضوء . يتوقف الانكماش فقط حين تصل كثافة اللب لما
يساوي كثافة مادة النواة متحولا بذلك إلى نواة كبيرة .

نتيجة التوقف الفجائي للانكماش تتولد موجات في جميع أنحاء المادة
الخارجية للنجم يتخلص بواسطتها من تلك المادة في انفجار هائل (شكل ٥) .
ويصل اللعنان الذي يحدثه الانفجار إلى ما يعادل ١٠ بليون مرة مثل لمعان
الشمس ، أي ١٠٠ ألف مرة مثل انفجار النوبا .



شكل (٥) سوبر نوفا ١٩٧٧A في مصابة ماجلان الكبرى قبل وبعد الانفجار

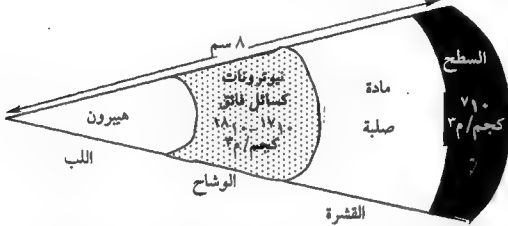
٩-٦ النجوم الكثيفة :

(i) الأقزام البيضاء .

(ii) النجوم النيوترونية : النجم النيوتروني نجم صغير جدا وعالي الكثافة بدرجة كبيرة ، وفي مرحلة متأخرة من تطوره ، وقد عانى من انهيار ثقلي شديد أدى لاندماج إلكتروناته وبروتوناته لتكون نيوترونات . وقطر النجوم النيوترونية ١٠ - ٢٠ كم فقط أما كثافته فحوالي ١٣١٠ إلى ١٥١٠ جم / سم^٣ (أى ١٠ مليون مليون إلى ألف مليون مليون جم / سم^٣) . ودرجة حرارة باطن هذه النجوم ألف مليون درجة مطلقة .

وللنجوم النيوترونية مجال مغناطيسى شديد يصل لحوالى مليون مليون أوستد . ويرجع اقتراح وجود مثل هذه النجوم إلى الثلاثينيات على أنها تمثل اللب المتبقى من السوبر نوفا بعد التخلص من معظم مادتها خلال الانفجار ، ففي هذه الحالة إذا كانت كتلة اللب أكبر من حد شاندراسيكر (١,٤ كتلة شمسية) يستمر الانكماش ليتكون نجم نيوتروني .

وعلى عكس النجوم العادية يوجد للنجوم النيوترونية سطح صلب محدد جيدا، يعلوه غلاف جوى سمكه سنتيمترات قليلة ، والقشرة العليا معدنية صلبة تزداد كثافتها سريعا لسد داخل ومعظم النجم سائل فائق (Super fluid) ، بينما قرب المركز حيث تتعدى الكثافة ١٠ ١٨ كجم / م^٣ قد يوجد نواة صلبة من جسيمات أثقل (هيرونز hyperons) .



شكل (٦) تركيب النجم النيوتروني . القشرة من مادة صلبة جامدة والوشاح من سائل فائق حر الانسياب .

ورغم توقع وجود النجوم النيوترونية فى السلايينيات فإنها لم تكتشف حتى الستينيات حين اكتشفت النجوم النابضة وتم التعرف عليها كنجوم نيوترونية ثم فى السبعينيات حين رصدت كذلك كتابضات أشعة سينية (X-ray pulsars) ومفجرات أشعة سينية (X-ray bursters) .

(iii) النجوم النابضة (Pulsars) : لوحظ وجود هذه النجوم لأول مرة فى أغسطس سنة ١٩٦٧ . ويتميز النجم النابض بانبعاث نبضات إشعاع كهرومغناطيسى فى المنطقة الراديوية فى صورة نبضات شديدة الانتظام . وكان أول ما اكتشف منها يبعث بالنبضات كل ١.٣٣٧٣٠١١٣ ثانية . ومن المعتقد أن النجوم النابضة نجوم نيوترونية تدور حول نفسها بسرعة كبيرة . ومن الصعوبة بمكان رصد النجوم النيوترونية فى المنطقة المرئية حيث إن نورانيتها حوالى ١٠^{-٦} من نورانية الشمس، وقد رصد النجم النابض « فيلا Vela » عند قدر مرئى حوالى ٢٥ مما يجعلها من بين أكثر الأجسام التى تم رصدها خفوتا ، أما فى المنطقة الراديوية فالنجوم النابضة من المصادر القوية جدا .

ويمكن تفسير النبضات الراديوية إذا كان المجال المغناطيسى يميل بزاوية $90^\circ - \epsilon$ على محور دوران النجم .

وتتناقص كمية الحركة الزاوية للنجوم النيوترونية باضطراد كنتيجة لما تبعث به من إشعاع كهرومغناطيسى وجسيمات النيوترون وجسيمات الأشعة الكونية ، وربما إشعاع ثقافلى (Gravitational radiation) . وبالتالي تزداد باضطراد دورات النجوم النابضة . بالإضافة لذلك رصدت قفزات فجائية فى هذه الدورات ، مما قد يكون مؤشرا لوجود تحركات سريعة للمادة فى قشرة النجم النيوترونى (أى لالزل نجمية) أو فى الوسط المحيط .

وقد تم رصد قليل من النجوم النابضة فى نظم ثنائية قد يكون النجم الآخر فيها نجما نيوترونيا ، وكان أولها (16 + 1913) PSR فى سنة ١٩٧٤ ، وكان الاختلاف المركزى للمدار ٦ ، ودورته ٨ ساعات . وقد وفر هذا النظام أول دليل قوى على وجود موجات الثقافلى (موجات تحمل الجذب الثقافلى مشابهة للموجات الكهرومغناطيسية) . فخلال فترة الرصد نقصت الدورة المدارية باضطراد ، مما يعنى أن النظام يفقد طاقة مدارية تم حسابها فوجدت مطابقة تماما للمتوقع تبعا لنظرية النسبية العامة ، والتى تفسر فقد هذه الطاقة بأنها انبعثت فى صورة إشعاع ثقافلى .

بالإضافة للنجوم النابضة الراديوية اكتشفت فى السبعينيات نجوم نابضة فى حيز الأشعة السينية (نابضات الأشعة السينية) وهى تنتمى دائما لنظم ثنائية، وكذلك مفجرات الأشعة السينية وهى نجوم متغيرة غير منتظمة الدورة ويعتقد أنها توجد فى نظم ثنائية مثل نظام القزم الأبيض والنوفا ، لكن مع إحلال نجم نيوترونى بدلا من القزم الأبيض .

(iv) الثقوب السوداء (Black holes) : يوجد حدان للكتلة ، أولهما : حد شاندراسيكر M_d (١,٤ - ١,٢ كتلة شمسية) الذى تنكمش النجوم الأقل منه فى الكتلة بعد نفاذ مخزونها من الوقود النووى لتصل لمرحلة القزم الأبيض ثم تستمر فى الانكماش لتصل لمرحلة الاستقرار عند درجة حرارة صفر بمادة تامة



التحلل فيما يسمى بالقرم الأسود . والسحب الآخر : هو حد أوبتهيمر - فولكوف Mov (١,٥ - ٢ كتلة شمسية) . والنجم بين الحدين يستمر في الانكماش حتى يصل لمرحلة الاستقرار في صورة نجم نيوتروني . فإذا زادت كتلة النجم عن Mov يستمر الانكماش حتى يتخطى مرحلة النجم النيوتروني ليكون ثقباً أسود .

والثقب الأسود يسمى أسود لأنه حتى الضوء لا يستطيع الهروب منه . وقد أوضح لابلان في نهاية القرن الثامن عشر أن الجسم الثقيل بدرجة كافية يمكنه منع هروب الضوء من سطحه . وطبقاً لميكانيكا نيوتن تغطي سرعة الهروب من جسم كتلة M ونصف قطره R بالعلاقة

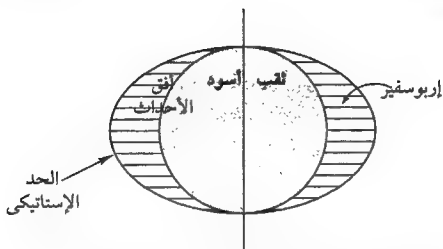
$$V_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad (5)$$

وهذه السرعة تتخطى سرعة الضوء إذا كان C أقل من نصف القطر الحرج

$$R_c = 2GM / C^2 \quad (6)$$

وتعطي نظرية النسبية نفس القيمة لنصف القطر الحرج المسماة « بنصف قطر شوارزشيلد » وهو للشمس حوالي ٣ كم ولكن الشمس لصغر كتلتها لا يمكن أن تصبح ثقباً أسود عن طريق التطور الطبيعي للنجوم . وباعتبار Mov الحد الأدنى لكتلة النجم الذي يمكن أن يتطور إلى ثقب أسود يكون نصف قطر أصغر ثقب أسود يمكن أن يتكون بهذه الطريقة ٥ - ١٠ كم :

ولا يمكن تفسير ظاهرة الثقب الأسود وخواصه خارج نطاق النسبية العامة . والنسبية العامة تستعير مفهوم الأفق ، وحجبه لما تحته من أجسام ، لتعريف ما يسمى أفق الأحداث (event horizon) وهو سطح لا يمكن إرسال معلومات للخارج من خلاله . ويحيط بالثقب الأسود بأفق أحداث عند نصف قطر شوارزشيلد .



شكل (٧) الثقب الأسود يحيطه أفق أحداث كروي . بالإضافة لذلك يحيط بالثقب الأسود الذي يدور حول نفسه سطح منبعج لا يمكن للمادة بداخله أن تفلك ساكنة . يسمى هذا السطح الإربوسفير .

وقوى المد بالقرب من الثقب الأسود كبيرة للدرجة تجعل أى مادة تسقط تجاهه تتمزق إربا . بينما تتحطم كل الذرات والجسيمات الأولية بالقرب من مركزه ولا يعرف كنه حالة المادة للفيزياء حتى الآن . وما يمكن رصده من خصائص الثقب الأسود لا يعتمد على وسيلة تكونه . كذلك يختفى أى مجال مغناطيسى خلف أفق الأحداث ، فثلاث خصائص فقط هى التى يمكن رصدها للثقب الأسود ، تلك هى الكتلة وكمية الحركة الزاوية والشحنة الكهربائية .

والوسيلة الوحيدة المعروفة حاليا لرصد الثقب الأسود بصورة مباشرة هى بواسطة الإشعاع من الغازات الساقطة عليه . فعلى سبيل المثال لو كان الثقب الأسود عضواً فى نظام ثنائى فإن المادة المنسابة من النجم الآخر تستقر فى قرص يحيط بالثقب ، ثم تتساقط المادة الموجودة فى حافة القرص الداخلية فى الثقب الأسود . وهذه المادة المتساقطة ستشع قدرا ضخما من الطاقة تصل إلى ٤٠ ٪ من الكتلة المتبقية فى صورة إشعاع يمكن رصده فى صورة أشعة X .

٧-٩ وسط ما بين النجوم :

ليس ما بين النجوم ولا ما بين المجرات وحشودها خواء ، بل يوجد غاز كما يوجد غبار ، سواء بتوزيع منتظم أو متجمعا فى سحب بين نجمية . ويتكون هذا الوسط أساسا من الهيدروجين مع قليل من الهيليوم ونسبة قليلة جدا من

العناصر الثقيلة والأثرية . ويميل هذا الوسط أكثر للتجمع في صورة سحب مع وجود غار قليل جدا فيما بينها . وتوجد الذرات مستعادية ومتأينة كما توجد إلكترونات حرة وجزيئات .

والغار النجمي في متوسطه (بعيدا عن السحب) مخلخل جدا حتى أن المسافة بين الذرات تبلغ تقريبا ١٠٠ مليون مرة مثل الذرات نفسها . ويستدل على وجود السحب باحمرار ضوء النجوم بالامتصاص حين يمر من خلالها ، وقد سبق ذلك في الفصل الرابع .

وأقطار الحبيبات في الأثرية بين النجمية حوالي 10^{-6} إلى 10^{-9} سم . وتسبح الأشعة الكونية المنطلقة من النجوم في أحوالها العادية أو المتفجرة ، في هذا الوسط وهي تلعب دورا كبيرا في العوامل الفيزيائية والكيميائية للسحب . وتتخلل السحب بين النجمية الكتل الكبيرة داخل المجرة ، وخاصة في أطراف أذرعها .

ومن أهم مظاهر هذا الوسط إشعاع الخلفية الكونية المناظر لطيف الجسم الأسود عند درجة حرارة 2.7 K عند الطول الموجي 21 سم . هذا الإشعاع يجب كل أرجاء الكون بما يوحى بأنه بقية الكرة الأولية التي تكون منها الكون ، ووجود هذا الإشعاع دعم نظرية الانفجار العظيم لتفسير نشأة الكون دعما كبيرا .

٩-٨ حشود وتجمعات النجوم :

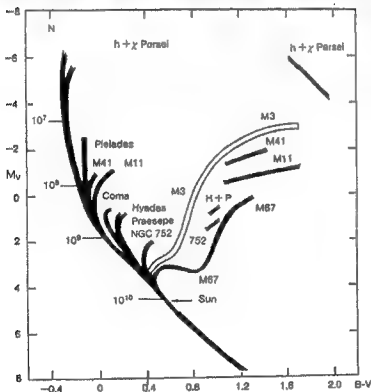
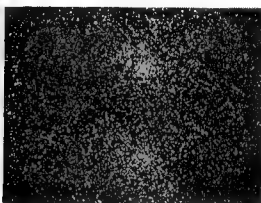
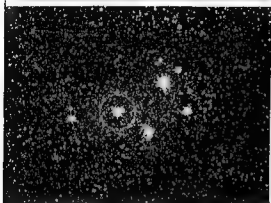
هي تجمعات من النجوم تماسك بواسطة الجذب المتبادل بينها وهي عادة متقاربة في العمر والخواص . ويتراوح نصف قطر الحشد بين 10^8 إلى 10^{10} مثل نصف قطر الشمس ، وتوجد ثلاثة أنواع من الحشود : مفتوحة وكرية واتلافية .

(i) الحشود المفتوحة (أو المعجرة) Open clusters :

حجم الحشد عشرات قليلة من السنين الضوئية المكعبة ، وقد رصد منها عدة آلاف ، ويعتقد وجود ٢٠ ألف حشد في المجرة . وكل حشد يحتوي على أقل من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ نجم (شكل ٨) وكثافة النجوم حوالي نجم واحد لكل ١: سنين ضوئية مكعبة . وهذه الحشود توجد في قرص المجرة ونجومها يافعة تحتوي على ١٪ إلى ٤٪ عناصر ثقيلة .



شكل (٨) الحشود المفتوحة (أ)
الانكسار (Heades) يشار أسفل
الصورة ، والثريا (Plyades) أعلاها
إلى اليمين ، وpersei (Persei)
أعلى اليسار ، (ب) الثريا ، (ج)
الميزان .



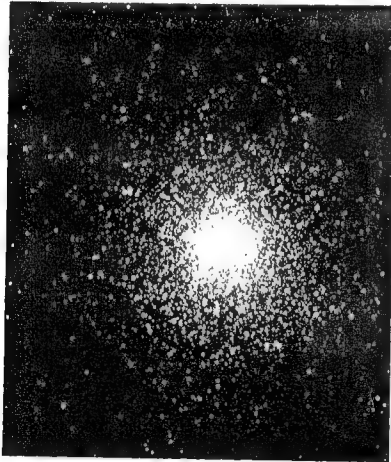
Sandage, A . (1956) :
Pub. Astron . soc .
Pac . 68 , 498

شكل (٩) شكل H - R
للحشود النجمية ، M3
حشد كروي والبقية حشود
مفتوحة وأعمار الحشود
موضحة على التتابع
الرئيسي . ويمكن قراءة عمر
الحشد من النقطة التي
تستدير نجوم الحشد عندها
مبتعدة عن التتابع
الرئيسي .

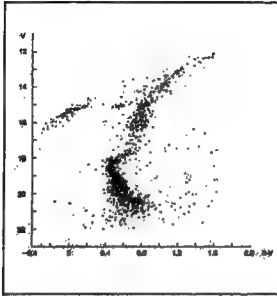
ويسبب قلة كثافة النجوم فى الحشد يمكن أن تهرب البعيدة منها . ويوضح شكل (٩) موقع الحشود المفتوحة على شكل H-R ، ومنه نرى أن النجوم أبرد من ١٠ آلاف درجة مطلقة (Ao) تقع على التابع الرئيسى ، بينما تقع الأسخن من ١٠ آلاف K فوقه وإلى اليمين . والنجوم التى تحيد عن التابع الرئيسى هى تلك ذات الكتل الكبيرة أو تلك التى قطعت شوطا فى تطورها .

(ii) الحشود الكرية : (شكل ١٠)

تأخذ هذه الحشود شكلا كرويا ، قد ينبعج بعض الشئ فى قليل منها . وكثافة النجوم فى هذه الحشود عالية حتى أن قطر الحشد قد يقل عن ١٠٠ سنة ضوئية ومع ذلك يحتوى مليون نجم . وتحتوى الحشود على نجوم R R ليرا ، وبعضها يحتوى على نجوم R V تاورى ومتغيرات قيفاوية . وسرعة حركة نجوم الحشد حول مركزه عالية وتتبع مدارات شديدة الاستطالة ، وبذلك تقطع قرص المجرة مرتين أثناء حركتها ، لكن احتمال حدوث تصادم يكاد يكون غير وارد .

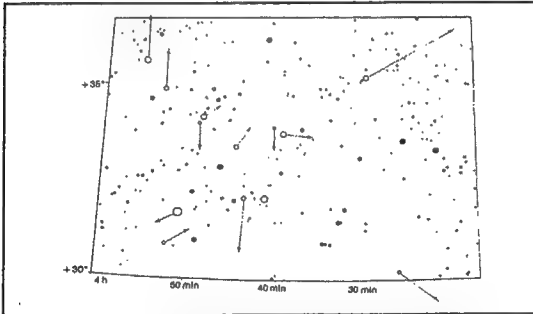


شكل (١٠) الحشد الكرى
M13 فى الجانى
(Hercules) ويبعد
حوالى ٢٢٠٠٠ سنة



شكل (١١) شكل H - R للحشد الكروي Ms إضافة للنظام
البرلنيسى يمكن أن ترى هرم العملاقة المنعنى للهيبت والى
اليسار منه الهرم الألفى .

وتحتوى نجوم الحشود
الكروية على (٠,١ - ٠,١٠) %
فقط من العناصر الثقيلة ، وهذا
يعنى أنها نجوم هرمية . وهذه
الحشود مستقرة لكثافة النجوم
العالية بها وخاصة عند مركزها .
ويوضح شكل (٩) وشكل
(١١) توزيع الحشود الكروية فى
شكل H - R حيث تقع النجوم
أقل من كتلة الشمس على الجزء
السفلى من التتابع الرئيسى ، أما
الفرع الأفقى فيبين تلك النجوم
التي تقل المعادن فيها عن الشمس
والنجوم الواقعة يساره هي تلك ذات الكتل الأصغر .



(iii) الحشود الالتلافية : (شكل ١٢)

هى مجموعات من النجوم الحديثة جدا تتأثر على مساحات كبيرة بدرجة تجعل من الصعب التعرف عليها بمجرد النظر . ويحتوى الحشد على عشرات قليلة من النجوم ويوجد أحدها حول النجم ريتا فرساي (Persei γ) وفى منطقة الجبار ، كما يوجد العديد غيرها وتبعا للصنف يقال O B أو T لتاوري ، وحيث إن أثقل نجوم الصنف O تمكث على التابع الرئيسى فقط ملايين قليلة من السنين فإن الالتلافات التى تحتويها لابد وأن تكون صغيرة العمر . أما نجوم t تاورى فهى أصغر وما تزال فى مرحلة الانكماش تجاه التابع الرئيسى . وقلة عدد النجوم فى الالتلاف لا تتيح ترابطا فيما بينها ليظل الالتلاف متماسكا ؛ ولذا فهى تتحرك متباعدة بسرعة . وقد أيدت أرصاد حركة نجوم أى من هذه الالتلافات كانت أقرب لبعضها كثيرا منذ قليل من ملايين السنين .

ويتداخل مع نجوم الالتلاف غالبا كميات كبيرة من مادة ما بين النجوم فى صورة غار وغبار وسدم مما يوفر معلومات عن علاقة تكوين النجوم بوسط ما بين النجوم . وقد أوضحت الأرصاد فى المنطقة تحت الحمراء أن نجوما تتكون الآن فى كثير من سحب ما بين النجوم الكثيفة .

وتتركز الالتلافات بقوة فى الأذرع اللولبية فى مستوى الطريق اللبنى ، حيث تم التعرف على ثلاثة أجيال منها فى منطقة الجبار وفى اتجاه قيفاوس .



الفصل العاشر

عالم المجرات

الطريق اللبنى	١ - ١٠
- الشكل العام	
- الإحداثيات المجرية	
- طرق قياس المسافة	
- فواصل النجوم	
تكوين المجرات	٢ - ١٠
كتل المجرات	٣ - ١٠
النظم المجرية	٤ - ١٠
أبعاد المجرات	٥ - ١٠
المجرات النشطة وأشباه النجوم	٦ - ١٠
العجاسات الثقالية	٧ - ١٠

فى هذا الفصل نوجز معلومات أساسية عن مجرتنا - الطريق اللبنى - ثم نستدير فى مرحلة أبعد إلى أعماق الكون نستجلى فيها بعضا من ملامح لبناته وهى المجرات ونظمها .

١٠-١ الطريق اللبنى :

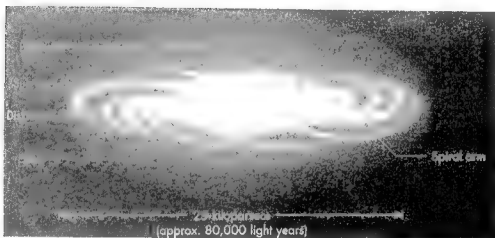
إذا نظرنا للسماء فى ليلة صافية غير مقمرة نشاهد شريطا سديميا يمتد عبر السماء محيطا بالكرة السماوية (شكل ١) ، وقد حاول « وليام هرشل » فى القرن الثامن عشر تعيين شكل وحجم الطريق اللبنى بعد التجوم ، لكن الفلكى الهولندى « كايان » كان أول من تمكن من تعيين هذا الحجم ، وكان ذلك فى بداية القرن العشرين . أما الحجم الحقيقى للطريق اللبنى وموقع الشمس فيه فقد عرفا فى العشرينيات من القرن العشرين عن طريق دراسات أجراها الفلكى « هارلو شابلى » عن توزيع الحشود الكرية .



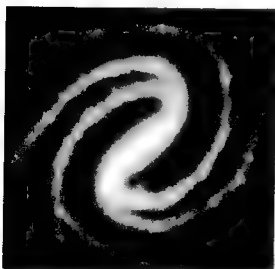
شكل (١) الطريق اللبنى

حجم الطريق اللبنى وشكله العام : دراسة الشكل العام للمجرة ليس فقط هدفا فى حد ذاته ، إنما يساعد فى دراسة ماضى المجرة ومستقبلها ، ونموذج

المجرة المعروف لنا حالياً جيد بدرجة طيبة . تتكون المجرة من ٣ أجزاء أساسية: الانبعاث المركزي والقرص والهالة (شكل ٢) .



↑



شكل (٢) مجرة الطريق اللبني . (أ) صورة جانبية توضح الانبعاث المركزي والقرص .

(ب) رسم توضيحي يوضح الملامح الأساسية للطريق اللبني . تقع الشمس في القرص حوالي ٢٠ ألف سنة ضوئية من المركز على الحافة الداخلية للذراع الحلزونية . وفي الشكل حشد كروي من بين عالم تلك الحشود المميزة لهالة المجرة والانبعاث المركزي يحيط بلب المجرة .

جـ

والقرص يمثل الجزء الرئيسى للمجرة يمتد بقطر حوالى ١٢٠ ألف سنة ضوئية وسمك حوالى ١٠٠٠ سنة ضوئية ويتكون من ٢ - ٤ أذرع لولبية ، ويحتوى القرص نجوما من الفصيلة I غنية بالمعادن (١ - ٤ %) وسحب من الغاز والغبار ، وتمتد الغازات أبعد من النجوم . وتقع الشمس أعلى القرص بقليل على بعد حوالى ٣٠٠٠ سنة ضوئية من مركز المجرة .

أما الانبعاث المركزى ، فيغلف الأجزاء الداخلية للمجرة ومن بينها نواتها التى يلفها الغموض وهى القلب الداخلى منها . وقطر الانبعاث حوالى ١٢٠٠ سنة ضوئية بينما سمكه حوالى ١٠٠٠ سنة . والانبعاث يحتوى على النجوم المسنة الفقيرة فى المعادن من الفصيلة I . وتحيط الهالة الكروية بالانبعاث المركزى والقرص ، وتمثل الحشود الكرية من نجوم الفصيلة II (سيرد تعريفها) معظم المادة المرئية من الهالة التى يمتد قطرها لأكثر من ١٢٠ ألف سنة ضوئية .

وقد قدرت كتلة المجرة (من دراسة حركة النجوم حول مركزها واستخدام قانون كبلر الثالث) بحوالى مليون مليون كتلة شمسية ، أما عمرها فيناز ١٥ ألف مليون سنة وهو عمر أقدم النجوم فى هالتها .

مثال :

إذا كانت الشمس تدور حول مركز المجرة على بعد ٣٠ ألف سنة ضوئية بسرعة ٢٢٠ كم / ث . احسب كتلة المجرة .

الحل :

إذا كانت M_1 كتلة المجرة ، M_2 كتلة الشمس ، ودورة الشمس حول مركز المجرة P على بعد R (بفرض أنها تتحرك فى دائرة) ، يمكن كتابة قانون كبلر الثالث على الصورة .

$$M_1 + M_2 = \frac{R^3}{P^2} \quad (1)$$

حيث R مقاسة بالوحدات الفلكية و P بالسنين ، من الأرقام المعطاة .

$$R = 30000 \text{ LY} \quad (\text{سنة ضوئية})$$

$$= 30000 \times 6.32 \times 10^4 = 1.9 \times 10^9 \text{ A.U.} \quad (\text{وحدة فلكية})$$

$$P = \frac{2\pi R}{V} = \frac{(2 \times 3.14)(1.9 \times 10^9)(150 \times 10^6)}{220} \left(\frac{1}{3600 \times 24 \times 365.2422} \right)$$

$$= 2.6 \times 10^8 \text{ yr}$$

$$M_1 + M_2 = \frac{(109)^3}{(2.6)^2} \times 10^{11} = 1 \times 10^{11} \quad \text{فيكون}$$

فإذا كانت $M_2 = 1$ تكون كتلة المجرة 110 كتلة شمسية .

وترصد الأذرع اللولبية في المنطقة المرئية بواسطة القيفاويات ومناطق H II (الهيدروجين المتأين) والنجوم من الصنفين O و B . أما في المنطقة الراديوية فتستخدم سحب الهيدروجين (H I) والسحب الجزيئية . وفي جميع الحالات تكون المشكلة الأساسية في تعيين المسافات .

والمجرة تدور حول مسحورها دورانا تفاضليا حيث تتبع النجوم القريبة من مركز المجرة في حركتها قوانين الحركة المدارية (مثل قوانين كبلر) وأن تباین تطابق الحركة مع هذه القوانين . أما على الأبعاد الكبيرة من مركز المجرة فتفشل قوانين كبلر في وصف الحركة ، وهذا يحدث مع الشمس مما يشير إلى أن جزءا كبيرا من كتلة المجرة يقع أبعد من الشمس ولم يمكن رصده بعد بصورة مباشرة ؛ ولذلك يسمى بالمادة المعتمدة . وتقع الشمس على الحرف الداخلي لأحد الأذرع اللولبية على بعد حوالي ٣٠٠٠ سنة ضوئية من المركز بسرعة ٢٢٠ كم / ث . وبذلك فهي قد أكملت حتى الآن حوالي ٢٠ دورة حول مركز المجرة .

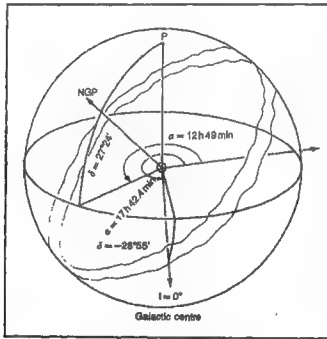
ويفسر بقاء التركيب اللولبي للمجرة بما يسمى نموذج الكثافة الموجي وفيه تسرى في قرص المجرة موجات كثافة لولبية (تشبه موجات الصوت) فتدفع مادته للتكثف في هذه الصورة .

وتبعث نواة المجرة بإشعاع كثيف في المناطق الراديوية وتحت الحمراء وبها نجوم عملاقة من الصنف M ونجوم شابة ثقيلة ، وأتربة وغازات تدور بسرعات كبيرة . وتفسير حركة الغازات يتطلب تركيز ملايين الكتل الشمسية من المادة في منطقة داخلية لا تزيد عن قليل من السنين الضوئية ، مما قد يكون ثوبا أسود فائق الكتلة . وهناك مؤشرات على ارتفاع كبير لدرجة حرارة منطقة النواة .

ويعتقد أن المجرة تكونت منذ ١٥ ألف مليون سنة من الانكماش الثقالي لسحابة ضخمة من الغازات والتراب وتدور ببطء حول نفسها ، فتكونت الهالة أولا ثم تكون بعدها القرص ، وهذا التسلسل يتضح من توزيع أعمار النجوم فى كل منها .

الإحداثيات المجرية :

تتطلب دراسة تركيب الطريق اللبنى اختيار نظام إحداثيات كروية مناسب يكون مستواه الأساسى هو مستوى تماثل المجرة وهذا يعرف بأنه مستوى تماثل توزيع الهيدروجين المتعادل وهو يتوافق تماما مع مستوى تماثل توزيع النجوم فى مدار الشمس (فى حيز قليل من السنوات الضوئية) .



شكل (٣) نظام الإحداثيات المجرية

وقد اختير الاتجاه الأساسى مشيرا لمركز الطريق اللبنى وهو يقع فى كوكبة القوس ($\alpha = 17^h, 42.4^m, \delta = -28^\circ 55'$ ، الحقبة 1950.0) على بعد حوالى ٨,٥ كيلوبارسك . ويقاس العرض المجرى من مستوى المجرة إلى قطبها من صفر إلى + ٩٠ أو تجاه قطبها الجنوبي من صفر إلى - ٩٠ . أما الطول

المجرى فيقاس من اتجاه مركز المجرة ($l = 0$) شرقا على امتداد مستوى المجرة .

طرق قياس المسافة ومقياس السكون المحلي :

(i) اختلاف المنظر المثلثي : تعتمد على قياس التغير في الاتجاه مع دوران الأرض السنوي في مدارها حول الشمس . وتعطى هذه الطريقة نتائج طيبة حتى بعد ٣٠ بارسك ، لكنها تفشل بعد ١٠٠ بارسك .

(ii) حركة الشمس بالنسبة للنجوم المجاورة : (مقياس السكون المحلي) تنعكس حركة الشمس بالنسبة للنجوم المجاورة في حركة هذه النجوم الذاتية وسرعاتها القطرية . وتسمى النقطة التي تتجه لها حركة الشمس بالنسبة للنجوم « رأس الشمس » والنقطة المقابلة لها صنديد الرأس ، وتبدو النجوم القريبة من رأس الشمس مقتربة منها (سرعة قطرية سالبة) بينما تتصرف تلك القريبة من صنديد الرأس بأعلى سرعة قطرية (موجبة) ، أما على الدائرة العظمى العمودية على خط حركة الشمس فتكون السرعة القطرية صفرا . ومقياس السكون المحلي نظام إحداثيات يعرف بحيث يكون متوسط سرعات النجوم المجاورة للشمس مضادا لسرعتها ، وبذلك يكون متوسط حركة النجوم بالنسبة له صفرا ، وبالنسبة لهذا النظام تكون حركة الشمس كالآتي :

$$\alpha = 18 \text{ h } 00 \text{ m} , \delta = + 30^{\circ} \quad \text{الرأس تجاه}$$

$$v_0 = 19.7 \text{ km / sec.} \quad \text{سرعة الشمس}$$

وتقع رأس الشمس في كوكبة الجاثي .

وتعرف سرعة أى نجم بالنسبة لمقياس السكون المحلي « الحركة الشاذة » للنجم (Peculiar motion) .

(iii) اختلاف المنظر الإحصائي : يستخدم فيه تغير اتجاه النجوم مع حركة الشمس الذاتية (ومعها مجموعتها) .

(iv) اختلاف المنظر الفوتومتري : وفيه تستخدم مباشرة العلاقة

$$m - M = 5 \log (r / 10 \text{ pc}) + A (r)$$

ويستخدم فيها نجوم توجد وسيلة أخرى لمعرفة قدرها المطلق مثل متغيرات قيفاوس .

فصائل النجوم :

أوضحت دراسات حركة النجوم فى الطريق اللبنى أن مدارات النجوم فى مستوى المجرة تقريبا دائرية ، وأن هذه النجوم عادة نجوم شابة لا تتجاوز أعمارها ملايين قليلة من السنين ، وهى كذلك تحتوى على كميات كبيرة نسبيا من العناصر الثقيلة (٢ ٪ إلى ٤ ٪) . وكذلك تتحرك المادة ما بين النجوم فى مستوى المجرة فى مدارات شبه دائرية . وقد صنف النجوم الشابة ومادة ما بين النجوم تبعا لتركيبها الكيميائى وحركتها على أنها من الفصيلة I .

أما خارج مستوى الطريق اللبنى فتحيطه هالة شبه كروية تمتد حوالى ٥٠ كيلو بارسك وقد تمتد أكثر ، وأقصى كثافة للنجوم توجد بالقرب من المركز وتنقص للخارج . وتحتوى الهالة على قليل جدا من المادة بين النجمية ، ونجومها مسنة تصل أعمارها إلى ١٥ ألف مليون سنة وهى فقيرة جدا فى محتواها من العناصر الثقيلة . كما أن مداراتها قد تكون شديدة الاستطالة وتتباعد عن مستوى المجرة ، والنجوم التى تنصف بهذه الصفات تسمى نجوم الفصيلة II ، وأوضح أمثلتها الحشود الكرية ونجوم RR ليرا و W فيرجيس .

وبالإضافة للفصيلتين I و II توجد متتابعة من الفصائل الوسيطة ، فهناك مثلا فصيلة القرص ومن أمثلتها الشمس ، وجدول (١١) يضم خصائص الفصائل المختلفة وتطور المجرة وتكون نجومها .

١٠-٢ تصنيف المجرات : (شكل ٦ ، شكل ٧)

تكون بعض المجرات عملاقة كما أن منها أقزام . وتصنف المجرات التى تبلغ من الحجم والمعان ما يسمح برؤيتها فى السماء تبعا لأشكالها . وشكل (٤) يوضح الأقدار والأقطار للمجرات الخارجية التى يمكن رؤيتها ، ومنه نرى أن المجرات يمكن رؤيتها تقع فى شريط ضيق من الشكل . ومعظم التصنيفات التى وضعت للمجرات تتفق مع تلك التى وضعها ادموند هبل فى سنة ١٩٢٦ وشكل (٥) يوضح المتتابعة التى وضعها هبل نفسه فى سنة ١٩٣٦ .

والأصناف الرئيسية ثلاثة : إهليلجية وعدمسية ولولبية . واللولبية تقسم بدورها إلى عادية وذات قضيب ، وبالإضافة لهذه الثلاثة هناك المجرات غير المنتظمة .

جدول (١) فصائل الطريرق اللبنى

الخاصية	الهالة فصيلة II	فصيلة II الوسيط	فصيلة القرص	فصيلة I القديمة	فصيلة I الشابة
أمثلتها	تحت الأقزام الحشود الكرية RR ليرا (الدورة < ٤ , يوم)	النجوم المتغيرة طويلة الدورة	السدس الكوكبية والنفا والعملاقة الحمر اللامعة	نجوم A الأقزام Me القيفاويات الكلاسيكية	غار وغبار والعملاقة الفائقة ونجوم T تاورى
العمر المتوسط (ألف مليون سنة)	١٢ - ١٧	١٥ - ١٠	٢ - ١٢	٢ - ١	٠,١
البعد عن مستوى المجرة (بارسك)	٢٠٠٠	٧٠٠	٤٠٠	١٦٠	١٢٠
السرعة الرأسية (كم / ث)	٧٥	٢٥	١٨	١٠	٨
وفرة المعادن	٠,٠٠١	٠,٠٠٥	٠,٠٥ - ٠,١	٠,٢	٠,٣ - ٠,٤

وتقع المجرات الإهليلجية فى درجات من E_0 وحتى E_7 . فإذا كان a المحور الأكبر للمجرة و b المحور الأصغر يعرف صنفها بأنه E_m حيث

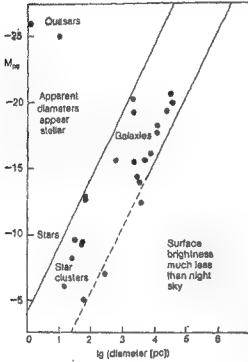
$$m = 10 \left(1 - \frac{b}{a} \right)$$

وبذلك تبدو صورة المجرة E_0 دائرية ، وفى الواقع يعتمد مظهر المجرة على الاتجاه الذى ترصد منه .

وقد أضيف لتصنيف هبل قسم من المجرات الإهليلجية العملاقة يرمز لها

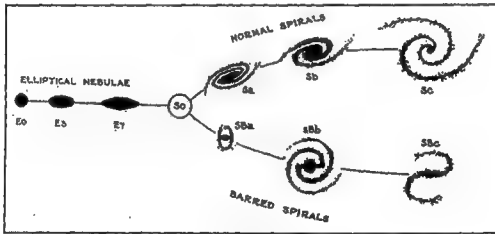
بالرمز cd وهى تتكون من جزء مركزى يشبه المجرات الإهليلجية العادية تحيط به هالة ضخمة خافتة من النجوم .

وتشبه المجرات اللولبية فى شكلها العام الطريق اللبنى . ويوجد متبايعتين من اللولبيات : عادية sa - sb - sc وذات قضيب sBa - sBb - sBc. والصف الثاني يحتوى على قضيب مركزى لا يوجد فى اللولبيات العادية .

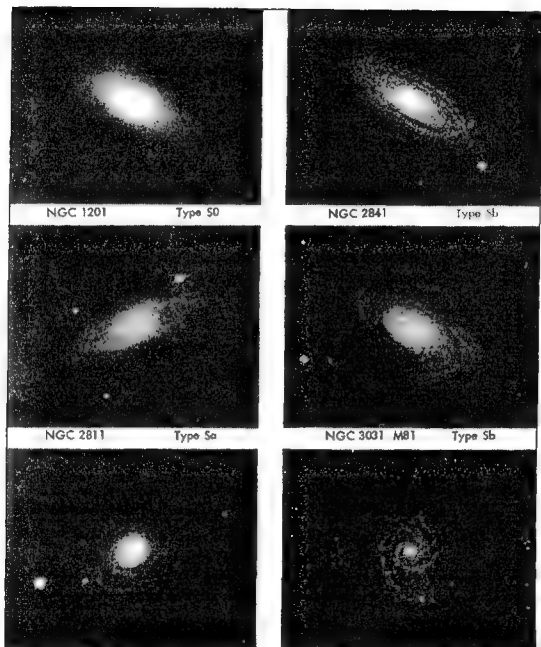


ويحدد موقع المجرة فى تتابع لولبى على أساس ثلاثة معايير ليست دائما على اتفاق : الاصناف المتأخرة تتصف بانبعاج مركزى أصغر وأذرع لولبية أضيق ونسق لولب مفتوح أكثر . ويظن أن مجرة الطريق اللبنى من الصف (بين sb و sc) .

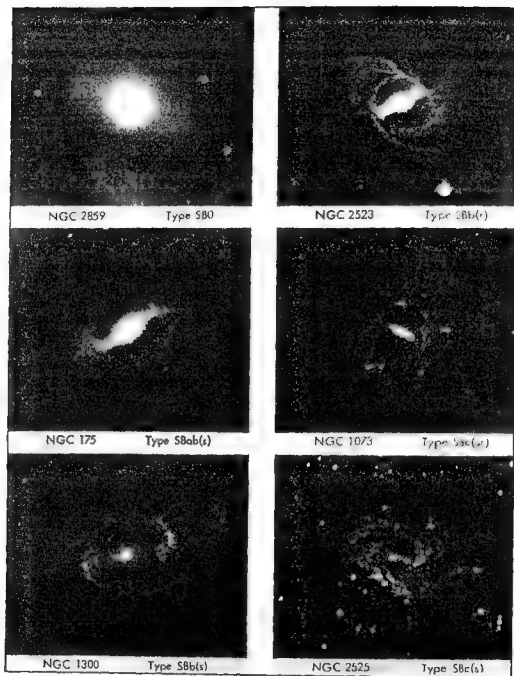
شكل (٤) أقطار وأقطارها يمكن رسمه من المجرات الخارجية . وما يمكن رسمه هو تلك الواقعة فقط داخل الشريط الموضم ، أما تلك التى إلى اليمين فقد قللت مساحة سطحها الكبيرة من لمعانها السطحي حتى صارت أخفت من سماء الليل ، وتلك التى إلى اليسار وتبدو فى صغر النجوم فلا تظهر فى الصور .



شكل (٥) متتابعة هبل



شكل (٦) تصنيف اللولبيات المادية والمجرات S0



شكل (٧) أصناف مختلفة من المجرات SBO و SB وتعتمد الأصناف O و S على ما إذا كان للمجرة حلقة مركزية أم لا ؟

و يلخص جدول (٢) خصائص المجرات من الأصناف المختلفة .

جدول (٢) الخصائص العامة للمجرات

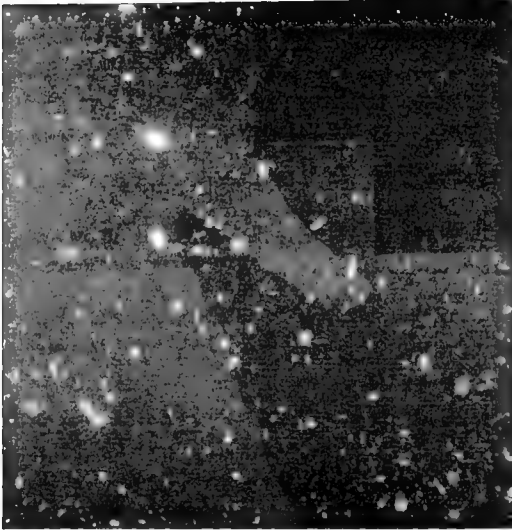
الخاصية	اللولبيات	غير المنتظمة	أقزام إهليلجية	عملاقة إهليلجية
القطر (سنة ضوئية)	310×90	310×20	310×30	310×150
الكتلة (الشمس = ١)	١١٠	٦٠	٧١٠ - ٥١٠	١٣١٠
النورانية (الشمس = ١)	١١٠	٩٠	٨١٠	١١١٠
اللون	فروق (القرص)، محمر (الهالة والنواة)	مزرق	محمرة	محمرة
الغاز المتعادل (نسبة من الكتلة)	٥ %	١٥ %	أقل من ١ %	أقل من ١ %
أصناف النجوم	شابة (القرص) مسنة (الهالة والنواة)	شابة	مسنة	مسنة

١٠-٣ كتل المجرات :

تعين توزيع الكتل فى مجرات هام لكل من علم الكون ولنظريات نشأة وتطور المجرات ، وتعين الكتل عادة بالربط توزيع الكتل وتوزيع الإضاءة، وكذلك بطرق غير مباشرة بدراسة التحركات التى تدفعها المجرة . وتعطى النتائج عادة بدلالة شبه الكتلة إلى النورانية M/L باستخدام كتلة الشمس ونورانيته كوحدة ، وفى جوار الشمس فى الطريق اللبنى قدرت النسبة المذكورة بالقيمة $M/L = 3$. وتوجد طرق عديدة لتعيين الكتل تختلف تبعاً لصنف المجرة ، لكن هنا ليس مجال ذكرها .

١٠-٤ النظم المجرية :

تكوّن المجرات نظماً تبدأ من مجرتين وتنتهى بالحشود الفائقة ، وكلما كان النظام كبيراً قلت فرصة زيادة كثافته عن الكثافة الكونية المتوسطة . وبصورة عامة تكون الكثافة ضعف كثافة الوسط المحيط إذا كان قطر النظام ١٠ ميغا بارسك بينما تكون الزيادة ١٠ % فقط إذا كان القطر ٤٠ ميغا بارسك ، وكذلك تتأثر أشكال المجرات بقوى المد تبعاً لطبيعة النظام الذى يضمها .



شكل (A) هشد من المجرات يضم حوالي ١٥٠٠ مجرة

المجموعات : تتكون من عدد قليل من المجرات ، وهي النظم السائدة وأشهرها المجموعة المحلية التي تمتد في الفضاء حوالي ٣ مليون سنة ضوئية وتقع مجرتنا بالقرب من أحد أطرافها بينما تقع M3 عند الطرف الآخر . والمجموعة المحلية تضم حوالي ٣٠ مجرة .

الحشود : يسمى النظام حشداً إذا رادت مجراته عن ٥٠ من المجرات اللامعة . ونصف القطر المميز حوالى ٢ - ٥ ميغا بارسك . وأقرب حشود المجرات لنا حشد العذراء ويبعد حوالى ١٥ ميغا بارسك وهو حشد غير منتظم ، أما أقرب حشد منتظم فهو حشد الذؤابة (Coma) ويبعد حوالى ٩٠ ميغا بارسك .

وتنطلق أشعة X من حشود المجرات الناتجة من غاز ساخن فيما بين المجرات ، وتقدر درجة حرارة هذا الغاز فى الحشود غير المنتظمة بحوالى $k^{٧١}$ بينما تبلغ حوالى $k^{٨١}$ فى الحشود المنتظمة ، ويوضح شكل (٨) أحد حشود المجرات الكبيرة .

الحشود الفائقة : تتكون من مجموعات وحشود مجرات تجمعت لتكون نظاما أكبر . مثال ذلك الحشد الفائق المحلى الذى تمثل المجموعة المحلية أحد أعضائه ، ويقع مركز هذا الحشد الفائق فى حشد السنبلة ، كذلك يمثل حشد الذؤابة عضوا فى حشد فائق . وأقطار الحشود الفائقة ١٠ - ٢٠ ميغا بارسك .

١٠-٥ أبعاد المجرات :

من أصعب المشاكل مشكلة تعيين أبعاد الأجرام السماوية ، وتزداد الصعوبة بازدياد بعد الجسم المراد تعيين بعده . وبصفة عامة تستخدم طرق تعتمد على الآتى :

(i) المتغيرات القيفاوية ، وقد استخدمت لتعيين أبعاد ٣٠ ٪ من المجرات القريبة .

(ii) داخل المجموعة المحلية يمكن استخدام نفس طرق إيجاد المسافة داخل الطريق اللبنى وأهمها استخدام النجوم المتغيرة .

(iii) على المسافات الكبيرة جدا (أكبر من ٥٠ مليون بارسك) يمكن تعيين المسافة باستخدام طرق تعتمد على تمدد الكون .

(iv) بين هذين الحدين تستخدم طرق تعتمد على بعض الخصائص التى يمكن قياسها وترتبط بالقدر المطلق .

(٧) من أهم الطرق خاصية خط الهيدروجين ٢١ سم الذى يرتبط عرضه مع القدر المطلق للمجرات اللولبية وهى ما تسمى علاقة «تولى - فيش» .

(٧١) يستخدم فى تعيين أبعاد الحشود أبعاد المجرات المكونة لها .

٦-١٠ المجرات النشطة وأشباه النجوم :

يظهر نشاط المجرات غير الطبيعي فى صور مختلفة ، فبعض المجرات لها أنوية لامعة بدرجة غير طبيعية ، وفى مجرات أخرى يكون عرض الخطوط الطيفية أكبر من المعتاد ، بينما تبدى بعض المجرات مظاهر تشبه القذف النفث ، أو تشع طيفا غير حرارى يشبه إشعاع السينكروترون الذى يصدر عن الإلكترونات المتسارعة فى مجال مغناطيسى .

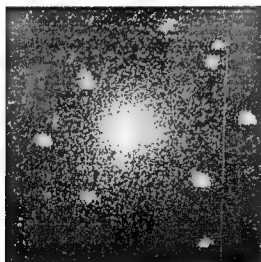
وقد تكون نورية المجرات النشطة كبيرة للغاية بدرجة توضح أنها لا يمكن أن تشع طويلا بهذا المعدل ، وهذا يوحي أنها ليست أنماطا جديدة من المجرات ، بل تمثل مراحل فى تطور المجرات المعروفة .

ويوجد نوعان أساسيان من المجرات النشطة : مجرات سيفرت والمجرات الراديوية . والأولى لولبيت بينما الأخيرة مجرات إهليلجية ؛ لذلك يعتقد بعض الفلكيين أنهما يمثلان المراحل النشطة للأصناف التى يشبهانها .

مجرات سيفرت (Seyfert) : نوع من المجرات نواتها شديدة السمعان وتحسوى أطرافها على خطوط انبعاث قوية . ومعظم هذه المجرات لولبية . وتحرك سحب الغاز فى هذه المجرات بسرعات عالية جدا حيث تعجلها مصادر طاقة قوية فى النواة ، وهذه المصادر مجهولة المصدر . وكثير من هذه المجرات تشع موجات راديوية وبعضها يصدر أشعة X . وهذه المجرات تمثل حوالى ١ ٪ من جميع المجرات ومنها M 77 (NGC 1088) وهى من ألمع هذه المجرات وهى كذلك مصدر إشعاع راديو .

المجرات الراديوية : هى مجرات تبعث بالإشعاع الراديو وإشعاع السنكروترون بقدر أكبر من المعتاد . وهذه المجرات عادة مجرات إهليلجية عملاقة ، ومثالها M 87 فى كوكبة السنبلة (العذراء) .

وشكل (٩) يوضح أحد المجرات الراديوية .

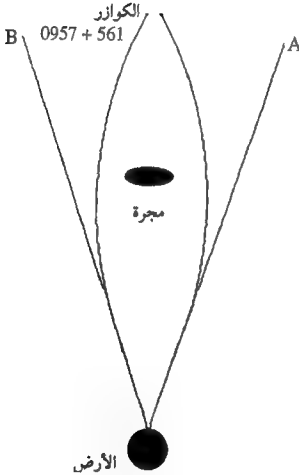


شكل (٩) بعض المجرات الراديوية

أشباه النجوم (Quasars) : اكتشفت لأول مرة سنة ١٩٣٦ وكان يظن أنها نجوم زرقاء أو نوبا ، وسرعات هذه النجوم عالية بدرجة غير معتادة ، وقد اكتشف منها أكثر من ١٥٠ ، ويعتقد الآن أنها مجرات حديثة التكوين . وأهم خواص هذه المجرات هي :

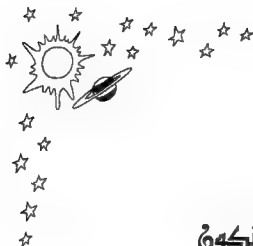
- سرعات تباعد تقارب سرعة الضوء .
- قوة إشعاع عالية جدا راديوية وأشعة سينية .
- زرقاء اللون .
- يتغير لمعانها كما لو كانت مجرات متغيرة .
- يبدي طيفها خطوط انبعاث عريضة وأخرى رفيعة .

٧-١٠ العدسات الثقالية :



من الظواهر الجديرة بالاهتمام ظاهرة العدسات الثقالية ، حيث إن الضوء ينشئ بتأثير المجالات الثقالية الشديدة فإن الضوء الصادر من الكوازر ينشئ بمروره بإحدى المجالات الثقالية الشديدة فيبدو كما لو كان هناك جسمان A، B وليس جسما واحدا . وقد اكتشفت الظاهرة عمليا سنة ١٩٧٩ عندما اكتشف جسمان من أشباه النجوم يفصل بينهما ٥،٧ ثانية قوسية ، ثم تبين تماثل طيفي الجسمين وتبين أن الجسمين ما هما إلا صورتان لنفس الجسم ، ثم اكتشفت بعد ذلك أشباه نجوم عديدة أخرى .

شكل (١٠) رسم توضيحي يوضح عمل المجرات كعدسات ثقالية



الفصل الحادي عشر

قصة الكون

١-١١ الفروض والإرجاح الكونية

- متناقضة أولبرز

- فضاء ما بعد المجرة

- قانون « هبل »

- عمر الكون وتمدده

- إشعاع الميكروويف - الجراي للخلفية الكونية

٢-١١ المبدأ الكوني

٣-١١ حاجز الكون ونشوؤه ومستقبله

منذ حوالي ٢٠ مليون سنة انفجرت القنبلة الكونية ، كانت نواتها نارا لا تزيد عن حجم كرة القدم . وكان نتاج هذا الانفجار هو ما نرى الآن فيما حولنا من مادة أو طاقة ووجود ، بعيدة عنا وقرية . وفي هذا الفصل نهدف إلى سرد طرف من قصة الكون بإيجاز شديد . ودراسة الكون تهدف لقراءة ماضيه والبحث عن حاضره واستقراء مستقبله ، وفي هذا لا تغنى دراسة جزء من الكون لنعرف منها كل الكون، كما لا يوجد كون آخر نستعين به فهو كون واحد ووجود واحد.

١١ - الفروض والإحصاء الكونية :

متناقضة أولبرز :

تتصل بمشكلة أثارها يوهان كبلر سنة ١٦١٠ ، وهي أنه إذا كان الكون لا نهائيا تبعا لمفاهيم كوبرنيك ، والنجوم موزعة فيه بانتظام فلن يكون هناك إظلام أثناء الليل ، ذلك أننا إذا نظرنا في أى اتجاه سيقع على خط الرؤية سطح أحد النجوم ، وحيث إن اللمعان السطحي لا يعتمد على المسافة فتبدو كل نقاط السطح فى مثل إضاءة سطح الشمس ، وقد فسر هذا بأن الكون محدود وليس لا نهائيا . هذه النتيجة غير صحيحة لأنه لو كان عمر الكون هو المحدود فإن ضوء النجوم البعيدة يكون ما زال فى طريقه إلينا ولم يصلنا بعد ، وبذلك بدلا من أن يقصد أولبرز لإثبات محدودية الكون يمكن أن تكون النتيجة محدودية عمر الكون .

فضاء ما بعد المجرة :

اكتشف « هبل » سنة ١٩٢٣ أن مجرة M31 تقع خارج مجرتنا وأن هناك تركيا مجريا واسما أبعد من الطريق اللبنى ؛ لذا تركز الاهتمام على دراسة ما إذا كان توزيع المجسمات بعيدا فى الكون مماثل للمنطقة القريبة منا وهذا التماثل يسرى على المادة والارتفاع ، وكانت النتيجة أن توزيع المجرات لا يعتمد على موقع المنطقة التى تتم دراستها ولا على اتجاهها ، معنى هذا أن الكون متجانس ومتماثل . كما وجدت أدلة على تمدد الكون .

قانون هبل :

فى أواخر العشرينيات اكتشف هبل أن طيف المجرات يتزاح للناحية الحمراء بقدر يتناسب مع بعدها ، أى أن الإزاحة

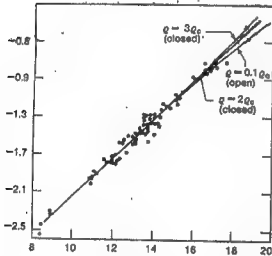
$$Z = H r \quad (1)$$

حيث r المسافة و H ثابت سمي ثابت هبل ولكن

$$Z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \quad (2)$$

حيث c سرعة الضوء و v سرعة تباعد (أو تقارب) النجم (شكل ١ و ٢).

$$v = \frac{H}{c} r \quad (3)$$



وتراوح تقديرات قيم ثابت

هبل بين ٥٠ إلى ١٠٠ كم / ث

/ مليون سنة ضوئية ، ويوضح

شكل (١١) العلاقة الخطية بين

الإزاحة الحمراء والقدر الظاهري

لبعض المجرات .

عمر الكون وتمددده :

يمكن تقدير عمر الكون

بغض النظر عن أى نموذج كوني

باستخدام نتائج الأرصاد مباشرة .

فالكون أقدم من أى من مكوناته ، شك (١١) العلاقة بين القدر والإزاحة لألعم المجرات فى المشهود (قانون هبل)

وعمر أقدم الحشود النجمية فى

الطريق اللبنى ١٠ - ١٥ ألف مليون سنة ، وهذا يعطى الحد الأدنى لعمر

الكون .

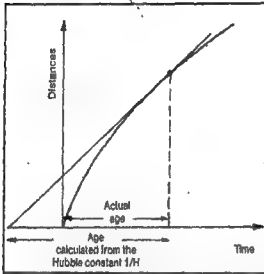
كما يمكن تقدير العمر باستخدام ثابت هبل . إذا كان الكون قد يتمدد (وهو

ما تأكد من الإزاحات الحمراء للمجرات) فإن المجرات كانت فى الماضى أقرب

لبعضها البعض . فلو كان معدل التغير ثابتا فإن معكوس ثابت هبل $H^{-1} = T$

يمثل عمر الكون . ولكن يعتقد أن التمدد آخذ فى التباطؤ لذلك يعطى معكوس

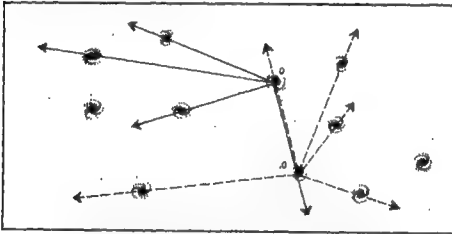
ثابت هبل حدا أقصى لعمر الكون (شكل ١٢) . وتبعاً للتقديرات الحالية 50



شكل (١٢) لا يعنى التمدد المتخلف تبعاً لقانون هبل أن
الطريق اللبني Θ هو مركز الكون
فكل المجرات الأخرى سوف ترى نفس التمدد من التمدد

كم . ث.^١ . ميغا بارسك^١ 100
 $H > \text{كم . ث.}^{\text{١}}$. ميغا
بارسك^١ يكون عمر الكون ١٠
آلاف مليون سنة $T > 20$ ألف
مليون سنة .

ويلاحظ التوافق الكبير بين
التقديرين . ويجب أن نعي أن
تمدد الكون لا يعنى أننا في
مركزه، فكل مجرة تبعد عن
الأخرى بسرعة تتناسب مع البعد
بينهما، يسرى هذا علينا وعلى جميع
المجرات الأخرى (شكل ١٣) .



شكل (١٣) لا يعنى التمدد المتخلف تبعاً لقانون هبل أن الطريق اللبني Θ هو مركز الكون
فكل المجرات الأخرى سوف ترى نفس التمدد من التمدد

إشعاع الميكروويف الحراري للخلفية الكونية :

يمثل اكتشاف هذا الإشعاع أهم الاكتشافات الكونية منذ قانون هبل ،
اكتشف «أرنو بتزاس» و «روبرت ويلسون» في سنة ١٩٦٥ أن هناك إشعاعاً شاملاً
في منطقة الميكروويف طيفه يناظر طيف الجسم الأسود عند درجة حرارة 3 K .
وقد حصلوا على جائزة نوبل لهذا الكشف .

وكان « جورج جامو » قد تنبأ بوجود هذا الإشعاع فى أواخر الأربعينيات وتبعاً لجامو كان الكون عند بدء خلقه مملوئاً بإشعاع شديد السخونة ، ولما أخذ فى التمدد بدأ الإشعاع يبرد للدرجة المتوقعة حالياً وهى قليل من الدرجات المطلقة .

بعد كشف « بنزياس » و « ويلسون » جرت دراسة هذا الإشعاع فى المنطقة من ٥,٥ سم و ٥٠ سم ، وأحدث الدراسات من قمر « كوىبى » مستكشف الخلفية الكونية (Cosmic Background explorer) « توضح أن هذا الإشعاع يناظر إشعاع الجسم الأسود عند درجة الحرارة ٢,٧٣ - ٠,٠٦ K .

يعنى وجود هذا الإشعاع دعماً شديداً لاعتقاد أن الكون كان فى بدء خلقه شديد السخونة . وإشعاع الخلفية الكونية متماثل للدرجة كبيرة ، وهذا يدعم بالتالى فكرة أن الكون متجانس ومتماثل . وقد اكتشف كوىبى كذلك تغيرات فى درجة الحرارة بسعة 6×10^{-6} فى الخلفية . وهذه لا يمكن أن تعزى لإزاحات حمراء ثقافية للخلفية تتسبب فيها تجمعات الكتلة التى يمكن فى المستقبل اكتشاف معلومات عن التركيبات الكونية .

١١-٢ المبدأ الكونى :

فى دراستنا للكون نضع فروضاً أساسية لا تتناقض مع نتائج الأرصاد هذه الفروض هى :

(i) القوانين الفيزيائية قوانين عامة لا تختلف من موقع فى الكون لموقع آخر ، وهذا يعنى أن المجرات الأخرى تتكون من نفس العناصر وتجرى فيها نفس العمليات الفيزيائية وإن اختلفت فقط تبعاً للظروف السائدة . ولو اختلفت تلك القوانين ، لكننا فى دراستنا كمن يواجه شعباً لا يرى ولا يسمع ولا يمكن إدراك وجوده بأى وسيلة .

(ii) الكون متجانس أى أن المادة والطاقة موزعة توزيعاً منتظماً فى كل أرجاء الكون .

(iii) الكون متماثل ، أى أن للكون نفس الخواص فى جميع الاتجاهات .
 هذه الفروض تمثل ما يسمى بالمبدأ الكونى وهى تعنى أن الكون ليس له مركز محدود ، ولا يمكن التفریق بين موقعين أو اتجاهين فيه بمجرد إجراء تجربة .
 ويمكن تلخيص هذا المبدأ فى أن الكون منتظم .

١١-٣ حاجز الكون ونشوؤه ومستقبله :

تهدف النماذج الكونية لاستنتاج صيغ رياضية وفيزيائية يمكن أن تستنتج حاضِر الكون وتقرأ ماضيه وتتنبأ بمستقبله ، وهى تعتمد على استخدام ما نعرفه الآن عن الكون ، وهذا يمكن إيجازه فى :

- (i) الكون يتطور فيتغير الكون كله مع الزمن كما تتغير مكوناته .
 - (ii) يتكون الكون من مادة متجمعة ، فالجسيمات الأولية تكون البروتونات والنيوترونات والإلكترونات ، وهذه تكون الذرات ، والذرات بدورها تكون المادة فى صورها المختلفة . ومن هذه المادة تتكون الكواكب والنجوم وهكذا .
 - (iii) الكون يتمدد ، ويعتمد معامل تمدده على متوسط قيم الكثافة العامة للمادة بناء عليها تحدد هندسة الزمان حيث توجد ثلاثة احتمالات :
 - فضاء مستو ، فيكون الكون مفتوحاً وتنطبق عليه هندسة إقليدس فيكون لا نهائياً فى المكان ولا نهائياً فى الزمان .
 - كروى ومغلق فيكون الكون متناهٍ فى المكان لكنه غير محدود ويكون متناهٍ فى الزمان .
 - فراغ رائدى ، ومرة يكون الكون مفتوحاً ولا نهائى فى كل من المكان والزمان ، إلا أنه منحرف فى هذه الحالة .
- ولم تستطع الأرصاد حتى الآن تركيبة أى من هذه الهندسات الثلاث ، لكن إذا ثبت وجود مادة معتمة بقدر كاف فإن الكون يكون محدوداً .
 وتوجد للكثافة قيمة حرجية وهى تبعا للهندسات السابقة تؤدي فى مستقبل الكون لثلاثة احتمالات :

- إذا كان متوسط الكثافة أكبر من الكثافة الحرجة فإن التمدد سيتوقف، ويبدأ الكون في الانكماش حتى يتهايل على نفسه فيما يسمى الانسحاق العظيم (Big crunch) .

- إذا كان متوسط الكثافة أقل من الكثافة الحرجة سيظل الكون في تمدده وتنخفض درجة الحرارة بصورة شديدة فيما يسمى البرودة العظمى (Big Chill) .

- إذا كان متوسط قيمة الكثافة مساويا للكثافة الحرجة فإن التمدد سيستمر لفترة ثم يتوقف لكنه لا يعود للانكماش .

وتقدر قيمة الكثافة الحرجة بما يساوى 5×10^{-30} جم / سم³ ،

الانفجار العظيم (Big Bang) ،

هو النموذج العياري المبني على النظرية العامة للنسبية ومعظم النماذج الكونية حاليا تدور في إطاره ، وهذا النموذج يلقي قبولا شبه كامل من الفلكيين في الوقت الحاضر .

في البدء كانت مادة الكون مركزة في كرة صغيرة قد لا يزيد حجمها عن قبضة اليد ، ثم حدث لهذه الكرة انفجار عظيم ليس كتلك الانفجارات التي نألفها على سطح الأرض والتي تبدأ من مركز محدد ثم تنتشر لتطبق على المزيد مما يحيط بها من الفضاء ، ولكنه انفجار حدث في نفس اللحظة في كل مكان مألثا الفراغ كله منذ البداية ، بينما يندفع كل جسيم متباعدة عن الآخر . وفي هذا الإطار فإن كلمة الفراغ قد تعنى كل الأرجاء لكون لا نهائي أو كل أرجاء كون محدود ينطوى على نفسه مثل سطح الكرة ، وكلا الاحتمالين صعب التصور لكن لا يعنيننا في شيء إن كان الفراغ في الكون الباكر محدودا أو لا نهائيا .

قرب الجزء الاول من المائة الثانية الأولى كانت درجة حرارة الكون نحو ١٠٠ ألف مليون درجة مطلقة (١١١٠) . وتلك الحرارة أعلى كثيرا من تلك عند مركز أشد السنجوم سخونة ، فهي في الحقيقة مرتفعة لدرجة تفقد مكونات المادة العادية من جزيئات أو ذرات أو حتى أنوية الذرات أى قدرة على التماسك، هذا فضلا عن احتواء المادة المندفعة في هذا الانفجار على مختلف أنواع الجسيمات الأولية .

وباستمرار الانفجار انخفضت درجة الحرارة إلى ٣٠ ألف مليون درجة ببلوغ عشر الثانية الأولى ، ثم إلى عشرة آلاف مليون درجة بعد مضي حوالى ثانية ، أما بعد مضي حوالى ١٤ ثانية فقد كانت الحرارة حوالى ٣ آلاف مليون درجة مطلقة وتلك الأخيرة ملائمة لانحلال الإلكترونات والبوزيترونات بمعدل أسرع من معدل تخليقها من الفوتونات وجسيمات النيوتريو . فتعمل الطاقة المنبعثة من هذا التحلل على إبطاء معدل تبريد الكون ؛ إلا أن التمدد جعل درجة الحرارة تستمر فى الهبوط بالغة نحو ألف مليون درجة بعد نهاية الثلاث دقائق الأولى ، وهى درجة ملائمة كى تبدأ البروتونات والنيوترونات فى تكوين أنوية مركبة بحيث يتكون أولا الهيدروجين الثقيل (ديوتيريوم) الذى تحتوى نواته على بروتون ونيوترون . وعند هذه المرحلة كانت الكثافة ما زالت عالية (أقل قليلا من كثافة الماء) بدرجة تسمح لهذه الأنوية بالتجمع مكونة لنواة الهليوم ، أكثر الأنوية الخفيفة استقرارا والتى تتكون من بروتونين ونيوترونين .

وعند نهاية الدقائق الثلاث الأولى كانت معظم مكونات مادة الكون على صورة ضوء وجسيمات نيوتريو ونيوتريو مضاد ، أضف إلى ذلك كمية ضئيلة من المادة النووية تتكون من ٧٣ ٪ هيدروجين و ٢٧ ٪ هليوم مع كمية متساوية من الإلكترونات والبوزيترونات تخلفت عن حقبة انحلال تلك الجسيمات . وتستمر مادة الكون فى التدافع متباعدة عن بعضها البعض فتبرد وتقل كثافتها . وبعد بضع مئات من آلاف السنين يصبح الكون أبرد لدرجة تكفى لأن تتحد الإلكترونات بأنوية الذرات مكونة لذرات الهيدروجين الهليوم . وتحت تأثير التضاؤل يتكون الغاز الناتج من تجمعات تبدأ فى التكاثر مكونة للمجرات والنجوم الموجودة حاليا فى الكون . وعلى ذلك فإن أول المكونات التى تبدأ بها النجوم هى المادة الخام التى تكونت أساسا خلال الدقائق القليلة الأولى من عمر الكون .

معجم المصطلحات التي وردت بالعناب

A

Aberration	لبيغ
Absolute Magnitude	قدر مطلق
Absorption Spectrum	طيف امتصاص
Altitude	ارتفاع
Angular Momentum	زخم زاوي
Annular Eclipse	كسوف حلقي (للشمس)
Anomalistic Month	شهر شاذ (أو حضيفي)
Anomalistic Year	سنة شاذة (أو حضيفية)
Antarctic Circle	الدائرة القطبية الجنوبية
Antimatter	صنديد المادة
Apastron	أوج نجمي
Apex	مستقر
Aphelion	أوج شمسي
Apogee	أوج أرضي
Apolune	أوج قمرى
Apparent Solar Day	يوم شمسي ظاهري
Apparent Solar Time	توقيت شمسي ظاهري
Apse (rapsis, pl. Apsides)	نقطة الرأس
Ascending Mode	المقدمة الصاعدة
Aspect	هياة

Association	حشد اثتلافى
Asteroid	كويكب
Astrology	تنجيم
Astrometry	استرومترى (علم القياسات الفلكية)
Astronautics	الملاحة الفضائية
Astronomical Unit (AU)	وحدة فلكية
Astronomy	علم الفلك
Astrophysics	الفيزياء الفلكية
Aurora	الفجر (أو الوهج) القطبى (أنوار الشمال)
Autumnal Equinox	نقطة الاعتدال الخريفى
Azimuth	زاوية السمث

B

Barycenter	مركز كتلة جسمين يتحركان حول بعضهما
Big Bang	الانفجار العظيم (أو الهبولى)
Big Chill	البرودة العظيمى
Big Crunch	الانسحاق العظيم
Binary Stars	نجوم مزدوجة
Black Dwarf	قزم أسود
Black Hole	ثقب أسود
Bolometric Magnitude	قدن حرارى (أو بولومتري)
Brightness	لمعان

C

Calender	تقويم ..
Cardinal Points	نقاط الاتجاهات الأصلية (الأربع)
Celestial Equatory	الاستواء السماوى
Celestial Mechanics	الميكانيكا السماوية
Celestial Navigation	الملاحة السماوية
Celestial Pole	الأقطاب السماوية (الشمالى والجنوبى)
Celestial Sphere	الكرة السماوية
Centri fugal Force	القوة الطاردة المركزية
Cepheid Variables	القوة الجاذبة المركزية
Ceres	المتغيرات القيفاوية
Chromosphe	أكبر الكويكبات
Circumpolarstars	الكرة الملونة (طبقة فى جو الشمس)
Duster of Galaxies	النجوم الخسان
Color Excess	حشد مجرى
Color Index	الزيادة العددية
Comet	الدليل اللونى
Commensurability	مذنب
Configuration	تناسب
Conic Section	نسق
Conjunction	قطاع مخروطى
Corona	اقتران
	الإكليل (أو الهالة)

Cosmic
Cosmogony
Cosmology
Crater
Crescent Moon

كوني
علم الأصول
علم الكون
قومة (حفرة)
الهلال

D

Declination
Descending Node
Differential Rotation
Diurnal
Draconic Month

الميل
العقدة الهابطة
دوران تفاضلي
يومي
شهر عقدي

E

Eccentric
Eclipse
Eclipsing Binary
Ecliptic
Elliptical Galaxy
Elongation
Ephemeris

اختلافي
خسوف أو كسوف
مزدوج كسوفي
الدائرة الكسوفية
مجرة إهليلجية
استطالة
ليج



Epicycle

Equinox

Eruptive Variable

Event

Extinction

Facuh

Filaments

First Ponit of Aries

Flares

Free - Free Transition

Full Moon

Fusion

Galactic Latitude

Galactic Longitude

Galaxy

Gegenschein

Geodsie

Giant

علم الفلك العام

فلک التدوير

إحدى نقطتي الاعتدال

نجم متفجر

حدث

همود أو خمود

F

كلف (شمسي)

فتائل على الشمس

نقطة الاعتدال الربيعي

ومضات (شمسية)

انتقال حر - حر

البلر

اندماج (نووي)

G

العرض المجري

الطول المجري

مجرة

الوهج المضاد

جيوديسي

عمالق (صنف من النجوم)

Gibbous Moon

المحاق

Globular Cluster

حشد كروي

Granules

حببيبات

Gravitation

تثاقل

Gravitation Lens

عدسة تثاقلية

Gravitational Redshit

الإزاحة الحمراء

Gravitational Waves

موجات التثاقل

Great Circle

دائرة عظمى

Greenhouse Effect

ظاهرة البيت الزجاجي

H

Halo

الهالة (حول الشمس أو القمر أو هالة
المجرة)

Heliacal Rising

شروق احتراقي

Helio

سابقة تعني نسبة إلى الشمس

Horizon

الافق

Hour Angle

زاوية السباعة

I

Inclination

زاوية الميل

Inertia

القصور الذاتي

Inferior Conjunction

اقتران سفلى



Inferior Planet
International Date Line
Interplanetary
Interstellar

ملف الفلك العام

كوكب داخلي
خط الزمان الدولي
بين الكواكب
بين النجوم

J

Jovian Planets
Julian Date
Jupiter

السيارات العظمى
الزمن الجولياني
المشتري

K

Kirkwood's Gaps

فجوات ثيركوود (في توزيع الكويكبات)

L

Latitude
Leap Year
Libration
Line of Apsides
Line of Moods
Local Standard of Rest
Longitude
Luminosity

عرض
سنة كبيسة
نودان
خط الرأس
خط العقدين
معيار السكون المحلي
طول
نورانية (ضياء)



Lunar



قمرى

M

Magellanic Clouds

سحب ماجلان (مجرتان لامعتان)

Magnitude

قدر

Main Sequence

التتابع الرئيسى

Major Planet

أحد السيارت العظمى

Mars

المريخ

Mean Solar Day

يوم شمسي متوسط

Mean Solar Time

زمن شمسي متوسط

Mean Sun

الشمس المتوسطة

Mercury

عطارد

Meridian (the)

خط طول (دائرة الزوال)

Meteor

شهاب

Meteorite

نيزك

Meteoroids

شهابيات

Meteor Shower

رخات شهابية

Milky Way

(مجرة) الطريق اللبنى

Minor Planet

كويكب

N

Nadir

النظير

Neap Tide
Nebula
Neptune
New Moon
Node
Nodical Month
Nodical (Eclipse) Year
Nova
Nutation

الجزر المحاق
سديم
كوكب نبتون
هلال
عقدة
شهر عقدي
سنة عقدية (أو كسوفية)
نوبا (نجم براق)
ترنج

O

Oblate Spheroid
Oblateness
Obliquity of the Ecliptic
Occultation
Opacity
Open Cluster
Opposition
Orbit

كرة منبعدة
انبعاج
ميل دائرة الكسوف
استتار
عتامة
حشد مفتوح
استقبال
مدار

P

;
Parallax

اختلاف المنظر

Parsec	بارسك (وحدة لقياس أبعاد النجوم = ٣,٢٦ سنة ضوئية)
Partial Eclipse	خسوف (أو خسوف جزئي)
Penumbra	شبه الظل
Periapsis (Perifocus)	نقطة الحضيض
Periastron	حضيض نجمي
Perigee	حضيض أرضي
Perihelion	حضيض شمسي
Perilune	حضيض قمرى
Perturbation	إفلاق
Phases of the Moon	أوجه القمر
Photographic Magnitude	القدر الفوتوغرافى
Photometry	القياسات الضوئية (فوتومتري)
Photosphere	الكرة المضئية (فى جو الشمس)
Photovisual Magnitude	القدر البصرى الفوتوغرافى
Plage	مشاعل الكروموسفير
Planet	كوكب
Planetary Nebula	سديم كوكبى
Pluto	كوكب بلوتو
Polarization	استقطاب
Population I? II	فصائل نجمية
Precession (of the Equinoxes)	مبادرة (الاعتدالين)

Prominence

Proper Motion

Pulsar

Pulsating Variables

Quadrature

Quasars

Radial Velocity

Relyare Variables

Red Gaint

Regression of Nodes

Resolution

Restrictes Three Body Problem

Retrograde Motion

Right Ascension

Saros

Satellite

علم الفلك العام

الشواظ (السنة اللهب) الشمسية

الحركة الذاتية

نجم نابض

متغيرات نابضة

Q

تربيع

أشباه النجوم

R

سرعة قطرية

متغيرات القيثارة (النسر الواقع)

عملاق أحمر (صنف من النجوم)

تقهقر العقدة

تفريق

مسألة الأجسام الثلاثة المحدودة

حركة تراجعية (تجاه الغرب)

الطالع المستقيم

S

فترة تكرار الكسوف والخسوف

قمر

Saturn	كوكب زحل
Secular	قرنى
Semi Major Axis	النصف القطر الاعظم
Sidereal	نجمى
Sidereal Time	الزمن النجمى
Small Circle	دائرة صغرى
Solar Activity	النشاط الشمسى
Solar Wind	الرياح الشمسية
Solstice	نقطة انقلاب
Space Probe	ممسح الفضاء
Space Time	الزمن الفضاء
Spectral Class	صنف طيفى
Spectroscopic Binary Stars	مزدوجات نجوم طيفية
Soicules	سنيبلات (شمسية)
Spiral Arms	أذرع لولبية
Spiral Galaxy	مجرة لولبية
Spring Tide	مد ربيعى
Standrd Time	الزمن القياسى (توقيت المنطقة الاساسى)
Star	نجم
Star Cluster	حشد نجمى
Statistical Parallax	اختلاف المنظر الإحصائى
Stellar Evlution	تطور النجوم



Summer Solstice

Sundial

Sunspot

Super Gaint

Superior Conjunction

Superior Planet

Super Nova

Synodic

علم الفلك العام

الانقلاب الصيفي

المزولة

بقعة شمسية

عملاق فائق

اقتران علوى

كوكب خارجى (علوى)

نجم سوبر نوفا (فوق براق)

اقترانى

T

Temperatur (Absolute or Kelvin)

Temperatur (Celsius or Centigrade)

Temperatur (Color)

Temperatur (Effective)

Temperatur (Excitation)

Temperatur (Ionization)

(Kinetic)

Temperatur (Radiation)

Terrestrial Planet

Termosphere

Tidal Force

Tides

درجة الحرارة المطلقة

درجة الحرارة (سليوس) أو المئوية

درجة الحرارة اللونية

درجة الحرارة التأثيرية

درجة حرارة الاستثارة

درجة حرارة التأين

درجة الحرارة الحركية

درجة الحرارة الإشعاعية

كوكب أرضى (شبيه بالأرض)

الكرة الحرارية

قوة المد

المد والجزر

Total Eclipse

خسوف (كسوف) كلي

Transit (Culmination)

عبور

Tropic of Cancer

مدار السرطان (٢٣, ٥ ش)

Tropic of Capricorn

مدار الجدي (٢٣, ٥ ج)

Tropical Year

سنة استوائية

U

Umbra

منطقة الظل

Universal Time

التوقيت العالمي

Universe

الكون

Uranus

كوكب يوراثوس

V

Van Allen Layer (belt)

طبقة (أحزمة) فان ألن المشعة

Variable Star

نجم متغير

Venus

الزهرة

Vernal Equinox

الاعتدال الربيعي

Vertical Circle

دائرة رأسية

W

White Dwarf

قزم أبيض (صنف من النجوم)

Winter Solstice

الانقلاب الشتوي



علم الفلك العام

X - axis

x

المحور السيني

Year

y

سنة

Zenith

z

السمت

Zenith Distance

البعد السمتي

Zodiac

منطقة البروج

Zodiacal Light

الضوء البروجي

Zone Time

زمن المنطقة

.....

الكشاف

ألسنة الذهب (الشمسية) ٢٠٤

انبعاث الأرض ٥١ ، ٥٣

اندماج نووى ١٩٩ ، ٢٢٤

انتقال حر - حر ٩٦

انسحاق عظيم ٢٧٢

انفجار عظيم ٢٧٣

انقلاب صيفى ٦٠

انقلاب شتوى ٦٠

أوج ١١٦

أوجه القمر ١٢٣ ، ١٢٦

- ب -

بدر ١٢٣ ، ١٢٦

بعد سمتى (مسافة سمتية) ٥٧

بقعة شمسية ٢٠٠

بلوتو ١٦٢

بين الكواكب ١٨٩

بين النجوم ٢٣٩

- ج -

تأثير دوبلر ٨٢

- د -

اختلاف المنظر ٦٣ ، ٢٥٣

أذرع لولبية ٣٨ ، ٢٤٩ ، ٢٥٦

ارتفاع ٥٧

إزاحة حمراء ٨٣ ، ٢٦٩

استتار ١٨١

استقبال ١١١

استواء سماوى ٥٨

أسطرلاب ٢١ ، ٢٢ ، ٢٣ ، ٣٠

أشباه النجوم ٤٢ ، ٢٦٢

اعتدال خريفي ٦٠

اعتدال ربيعى ٦٠

اقتران ١١٣

اقتران سفلى ١١٣

اقتران علوى ١١٣

اقترانى ٧٢ ، ١١٣ ، ١٢٦

أقطاب سماوية ٥٨

إقلاق (اضطراب) ١١٦

إكبليل (أو هالة) ١٩٦ ، ٢٥٠ ، ٢٥٩

- تتابع رئيسي ١٠١
تثاقل ٤٣ ، ٢٦٤ ، ٢٢٨
تراجعية ١٨٢
تربيع ١١٣ ، ١٢٣ ، ١٢٦
ترنج ٦٤
تطور النجوم ٢٢٦
تقويم ٧١
تنجيم ١٨
توقيت شمسي متوسط ٦٧
توقيت عالمي ٦٩
- -
ثابت الجاذبية ١١٦ ، ٢٢٦ ، ٢١٦
ثقب أسود ٤٣ ، ٢٣٧
- ج. -
جهات أصلية ٥٧
جيولوجية الأرض ١١٧
- ح. -
حييات ١٩٦
حدث ٢٣٥ ، ٢٣٦
حركة تراجعية ١٢٨ ، ١٦٣
حركة ذاتية ٢٥٣
حشد اثتلافي ٢٤٤
حشد كرى ٢٤٢
حشد مفتوح ٢٤٠
حشد مجرى ٤١ ، ٢٦١
حشد نجمي ٤٢ ، ٢٤٠
حضيض ١١٦
- خ -
خسوف ١٨١
خط الزمان الدولي ٦٧
خط طول ٥٢ ، ٦٦
- د -
دائرة الزوال ٥٧
دائرة رأسية ٥٦
دائرة صغرى ٤٨
دائرة عظمى ٤٨
دائرة كسوفية ٦٠
درجة الحرارة الإشعاعية ١٠٣
درجة الحرارة الحركية ١٠٣
درجة الحرارة الحركية ١٠٣
درجة الحرارة اللونية ١٠٣
درجة الحرارة المطلقة ١٠٣

زمن جولياني ٧١	درجة حرارة التأين ١٠٣
زمن شمسي متوسط ٦٧	درجة حرارة الاستثارة ١٠٣
زمن قياسي (مناطق) ٦٦	دليل لوني (معامل ضوئي) ٩٠
زمن نجمي ٦٧	دوران تفاضلي ٢٥١، ٢٠٣، ١٤٨، ١٤٦
زيادة لونية ٩٤	- ف -
- م -	ذراع لولبية ٣٨ ، ٢٤٩ ، ٢٥٦
سحب ماجلان ٤٥	- م -
سديم ٤١	رخات شهابية ١٧٣
سديم كوكبي ٢٣٠	رياح شمسية ١٨٨ ، ٢٠٠
سمت ٥٦	- ن -
سنة استوائية ٧١	زاوية الساعة ٥٨
سنة شاذة (حضيضية) ٧٠	زاوية السميت ٥٧
سنة كبيسة ٧٠	زاوية الميل ٥٨
سنة كسوفية ٧٠	زاوية مجسمة ٨٣
سنيلات (شمسية) ١٩٧	رحل ٣٥ ، ١٤٧
سوبرنوبا (نجم فوق براق) ٢٣٤	رخم زاوي (عزم الحركة الدورانية)
سيارات عظمى ١٤١	١٧١
- م -	(ال) رهرة ٣٥ ، ١٣١
شبه الظل ١٨١ ، ١٨٤	ريج ٢٩
شدة نوعية ٨٤	ريغ ٦٣
شهاب ١٧٢	

عرض سماوى ٦١
 عرض مجرى ٢٥٢
 عطارد ٣٥ ، ١٢٩
 عقدة ١٨٢
 علم الأصول
 علم الفلك ٣٣
 علم الكون ٢٦٦
 عملاق ١٠١ ، ٢٢٩ ، ٢٣١
 عملاق فائق ١٠١
 غروب ٥٩ ، ٦٤
 - ف -
 قتائل (شمسية) ٢٠٦
 فجر قطبي (أورورا) ١٨٧
 فجوات كيركوود ١٧٤
 فصائل نجمية ٢٥٤
 فلك التدوير ٥٠
 فوهة (حفرة) ١٢٨ ، ١٣٨
 فيض الإشعاع ٨٥
 - ق -
 قبلة ٧٣
 قدر ٨٦ ، ٩٠

شهابيات ١٧٢
 شروق احتراقى ١٩
 شهر اقترانى ١٢٦
 شمس ٣٥ ، ١٩٢
 - س -
 صنف طيفى ٩٧
 - ط -
 طالع مستقيم ٦١
 طول ٥٣
 طول سماوى ٦٢
 طول مجرى ٢٥٢
 طيف امتصاص ٨١
 - ظ -
 ظل ١٨١ ، ١٨٣
 - ع -
 عبور سفلى ٥٩
 عبور علوى ٥٩
 عتامة ٩٣
 عدسة ثنائية ٢٦٤ ، ٢٦٦
 عرض ٥٣



ملف الفلك العام

كوكب ٣٥ ، ١٠٩ ، ١١٥	قدر ٨٨
كون ٤٤ ، ٢٦٦	قدر حرارى (بولومتري) ٨٩
كويكب ٣٦ ، ١٧٣	قدر ظاهرى ٨٧
- ❦ -	قدر فوتوغرافى ٨٩
لب (الكواكب) ١١٧ ، ١١٨	قدر مطلق ٨٧
- ⤵ -	قزم أبيض ١٠١ ، ٢٢٤ ، ٢٢٧ ، ٢٣١ ، ٢٣٢
مبادرة ٦٤	قطاع مخروطى (قطع ناقص) ١١٥
متغيرات قيفاوية ٢٣٢ ، ٩١	قمر ٣٥ ، ١٢٢
محاق ١٢٣ ، ١٢٦	قوانين كيرشوف ٨١
مجرة ٣٨ ، ٢٤٦ ، ٣٥٤	قوة المد ١٩١
مجرة إهليلجية ٣٨ ، ٢٥٥ ، ٢٥٧	قياسات ضوئية (فوتومتري) ٨٦
مجرة لولبية ٣٨ ، ٢٥٥ ، ٢٥٧	- ❦ -
مجرة نشطة ٢٦٢	كثافة الإشعاع ٨٥
مدار ١١٥	كسوف ١٨١
مد وجزر ١٩١	كسوف جزئى ١٨١ ، ١٨٢
ملنب ١٦٧	كسوف حلقى ١٨٢
مريخ ٣٥ ، ١٣٥	كسوف كلى ١٨١ ، ١٨٢
مزدوجات بصرية ٢٢٢	كرة حرارية ١١٩
مزدوجات طيفية ٢٢٣	كرة سماوية ٥٥
مزدوجات كسوفية ٢٢٣	كرة مضيفة (فوتوسفير) ١٩٦
مزولة ١٨ ، ٣٠	كرة ملونة (كروموسفير) ١٩٧

نقطة الاعتدال الربيعي ٦٠

نورانية (ضياء) ٨٦

نوبا (نجم براق) ٢٣٤

- ه -

هالة ١٩٦ ، ٢٥٠ ، ٢٥٩

هرتزسبرونج ١٠٠

هلال ٧٢ ، ١٢٣ ، ١٢٦

هليوم ١٩٥ ، ٢٢٤

همود ٩٠

- و -

وحدة فلكية ٤٤

وهج مضاد ١٩٥

ومضات (شمسية) ٢٠٦

- ي -

يوراثوس ١٥٥

يوم ٦٧

يوم شمسي ٦٧

يوم نجمي ٦٧

مشاعل (شمسية) ١٩٧ ، ٢٠٤

مشتري ١٤٥

معيار (مقياس) ٤٤

مقياس السكون المحلي ٢٥٣

منارل القمر ١٢٧

منطقة البروج ١٥

موجات التفاعل ٢٣٤

ميكانيكا سماوية ٣٥

ميل ١٦٤ ، ١٦٥

ميل دائرة الكسوف ٦٠

- ٥ -

نبتون ٣٥ ، ١٥٨

نسق ١١١

نجم ٣٧ ، ٢٢٠

نجم متفجر ٣٧ ، ٢٣٣

نجم نابض ٢٣٢

نجوم خسان ٦٤

نشاط شمسي ٢٠٠

نظير ٥٦

نقاط الجهات الاصلية ٥٧

نقطة الاعتدال الخريفي ٦٠

قائمة المراجع

أ - مراجع باللغة العربية :

- ١ - قصة الكون من السديم إلى الإنسان (أ. د. جمال الفندى) . دار الشعب ١٩٥٦ .
- ٢ - التقاويم (محمد فياض) . نهضة مصر ١٩٥٨ .
- ٣ - الطبيعة الجوية (د. جمال الفندى) . مؤسسة التأليف والترجمة والنشر ١٩٤٦ .
- ٤ - أعمالنا فى الفضاء (ترجمة د. إمام إبراهيم) . دار الكرنك ١٩٦٦ .
- ٥ - علم الفلك (د. محمد رضا بدور) . جامعة القاهرة ١٩٧٠ .
- ٦ - علم الفلك - تاريخه عند العرب فى القرون الوسطى (السنيور كرنولينو) . الدار العربية للكتاب ١٩٩٣ .

ب - مراجع باللغة الإنجليزية :

- 1 - Life on the Other Worlds . (Spencer Jones) .
- 2 - Mysteries of the Solar System . (Lytheton) , Clarendon, 1968 .
- 3 - Exploration of the Universe . (Abell) , Rinehart and Winston, 1975 .
- 4 - Black Holes and New Physics . (Wheeler) , Discovery 7, 4, 1982 .
- 5 - Comets and Their Origin . (Chapman and Brandt) , Mercury : Jan. - Feb. 3, 1985 .



- 6 - General Streaming of Galaxies seen out to 100 MPC
(Anderson), Physics Today : Nov. 1986 . p. 17 - 19 .
- 7 - Particle Physics and Inflationary Cosmology (Linde), Physics
Today Sept. 1987. p.p. 61 - 63 .
- 8 - Planet X- The Current Status (Seidemann and Harrington),
Celest. Mech. 43, ss, 1988 .
- 9 - The New Solar System (Beaty etal.), Cambridge, 1992 .
- 10 - Orbital Stability of Gaint Comet - Like Objects (Nakamura and
Yoshikawa), Celest. Mech. 113, 1993 .
- 11 - Astronomy, The Evolving Universe (Zeilik), Wiley 1994 .
- 12 - Review of the Dynamics in the Kirkwood Gaps (Moons),
Celest. Mech. 65, 1997 .

هذه السلسلة

لقد أضى أمر تعريب العلم والتعليم ضرورة أمن ضرورات النهضة العلمية والتقنية التي تشهدها أممتنا العربية الإسلامية لكي تستأنف مسيرتها الحضارية بإفقه القرآن الكريم الذي حفظها قوية حية في النفوس على الرغم من الوهن الذي أصاب أهلها. وبطار الفكر العربي من جانبها. قد استشعرت خطورة تأخير هذا المشروع الحضاري الكبير، فسعت جاهدة إلى تحقيق الهدف النبيل، وشرعت في إعداد سلسلة مراجع العلوم الأساسية، في مجالات الكيمياء والفيزياء والرياضيات والفلك والأرصاد الجوية والجيولوجيا وعلوم الحياة، بحيث تخاطب قارئ العلوم بصورة عامة، وطلاب المرحلتين الثانوية والجامعية على وجه الخصوص. وقد عهدت بتأليف الفكر العربي بالمستويات العلمية إلى هيئة استشارية تتولى التخطيط لإصدار هذه السلسلة، واستكتاب أهل الخبرة والاختصاص من علماء الأمة ومفكرها، ومناقشة الأعمال المقدمة قبل صدورها.

هذا الكتاب

كتابنا هذا كتاب إيمان بقدر كونه كتاب علم، نقدمه كتاب علم يثرى مكتبتنا العربية التي تخطو، أو تكاد، من كتاب في علم الفلك يستطيع قراء العربية الرجوع إليه. وقد راعينا فيه أن يشتمل على أكبر قدر من المعرفة الفلكية المسيرة لأحداث التطورات بصورة مبسطة دون إخلال بالدقة المطلوبة في كتاب علمي، وهو بهذا يفيد المتخصص فيغني ما يحتاجه دارسو الفلك في المرحلة قبل الجامعية وكذلك في المرحلة الجامعية الأولى، ومع هذا لا تستقصى قراءته على هؤلاء الفلك الهريصين على الدقة والتمعين. أما كون هذا الكتاب كتاب إيمان فهذا ما يحسه القارئ حين يستشعر قدر انضمامه الكون وتناصه ووحديته ما يحكم من قوائين وضعا له الخالق سبحانه وتعالى.



د. مصطفى كمال محمود

- أستاذ مساعد بقسم الفلك كلية العلوم، جامعة القاهرة
- عضو جمعية الرياضيات الأمريكية
- عضو جمعية لندن للرياضيات
- عضو الاتحاد الدولي للفلكي
- عضو الجمعية الفلكية المصرية وجمعية العلوم الرياضية والفيزيائية
- عضو اللجنة القومية الفلكية
- أشرف على العديد من رسائل الماجستير والدكتوراه في علوم الفضاء والفلك ونشر العديد من البحوث في تلك المجالات



د. مervat السيد عوض

- أستاذ ديناميكا الفضاء بقسم الفلك، كلية العلوم جامعة القاهرة
- عضو الجمعية الأمريكية لتقديم العلوم
- عضو أكاديمية نيويورك للعلوم
- عضو الاتحاد الدولي للفلكي
- عضو الجمعية المصرية للعلوم الفلكية وجمعية العلوم الرياضية والفيزيائية
- عضو اللجنة القومية الفلكية
- أشرفت على العديد من رسائل الماجستير والدكتوراه في علوم الفضاء والفلك في كثير من الجامعات المصرية وبعض الجامعات الغربية ونشرت العديد من البحوث في تلك المجالات

تطلب جميع منشوراتنا من وكيلنا الوحيد بالكويت دار الكتاب الحديث